

Acústica e Vibrações

Sociedade Brasileira de Acústica - Sobrac

Dezembro de 2015 - Vol. 30 ▶ Nº 47

Análise da paisagem sonora de quatro parques públicos na Amazônia brasileira

Análise de parâmetros acústicos em edificações de ensino e pesquisa utilizando a NBR 15.757: um estudo de caso

Avaliação de frequência, temperatura e atenuação da dose de ultrassom terapêutico em modelo de biomembrana de pele suína

Avaliação do desempenho acústico de edificações habitacionais em Fortaleza e análise do PEBD em sistemas de contrapiso flutuante

Desenvolvimento e validação de um sistema para controle de qualidade em linha de montagem de câmbios automotivos utilizando filtragem adaptativa

Identificação dos níveis de pressão sonora em um duto fechado/aberto via Técnica dos Elementos Finitos

Igreja de São Miguel Arcanjo das Missões Jesuíticas: influência das posições do coro nos parâmetros acústicos

Obtenção de modelo matemático para a avaliação do ruído de tráfego em Belém-PA

O Engenheiro Acústico tem lugar no Ministério da Saúde? No Chile, sim. No Brasil, habilitam-se convergências e novos desafios

O estudo do impacto de vizinhança (EIV) relativo à ocorrência de emissões sonoras

Expediente

Revista da Sociedade Brasileira de Acústica –
SOBRAC

ISSN 1983-442X
UFSM - CT - Sala 212
Av. Roraima nº 1000, Camobi
CEP 97105 900 Santa Maria RS
www.acustica.org.br
e-mail: sobrac@acustica.org.br
Skype ID: sobrac acústica

Diretoria SOBRAC 2015/2016

Presidente: Newton Sure Soeiro
nsoeiro@ufpa.br
Vice-Presidente: Débora Mirando Baretto
debora@audium.com.br
1o Secretário: Stelamaris Rolla Bertoli
rolla@fec.unicamp.br
2o Secretário: Daniel Fernando Bondarenco Zajarkiewicz
daniel@totalsafety.com.br
1o Tesoureiro: Júlio Apolinário Cordiolijulio.cordioli@ufsc.br
2o Tesoureiro: Maria Lygia Alves de Niemeyer
lygianiemeyer@gmail.com

Conselhos

Deliberativo 2013-2016

Aloísio Leoni Schmid
Débora Mirando Barreto
Elcione M. Lobato de Moraes
Ricardo E. Musafir
Stelamaris Rolla Bertoli

Deliberativo 2015-2018

Dinara Xavier da Paixão
Fabiana Curado Coelho
Gustavo da Silva Vieira de Melo
Léa Cristina Lucas de Souza
Ranny L. X. Nascimento Michalski

Fiscal Biênio 2015-2016

Aline Lisot
Marcio Henrique de Avelar Gomes
Maria Luiza Belderrain

Corpo Editorial

Gustavo da Silva Vieira de Melo
Newton Sure Soeiro
Ranny L. X. Nascimento Michalski

Capa

Gianfranco De Mello Stieven–UFPA

Sumário

Editorial.....02

Artigos

Análise da Paisagem Sonora de Quatro Parques
Públicos Na Amazônia Brasileira.....03

Análise de Parâmetros Acústicos em Edificações
de Ensino e Pesquisa Utilizando a NBR 15.757: um
Estudo de Caso.....11

Avaliação de Frequência, Temperatura e
Atenuação da Dose de Ultrassom Terapêutico em
Modelo de Biomembrana de Pele Suína.....17

Avaliação do Desempenho Acústico de Edificações
Habitacionais em Fortaleza e Análise do PEBD em
Sistemas de Contrapiso Flutuante.....23

Desenvolvimento e Validação de um Sistema para
Controle de Qualidade em Linha de Montagem de
Câmbios Automotivos Utilizando Filtragem
Adaptativa.....33

Identificação dos Níveis de Pressão Sonora em um
Duto Fechado/Aberto Via Técnica dos Elementos
Finitos.....41

Igreja de São Miguel Arcanjo das Missões
Jesuíticas: Influência das Posições do Coro nos
Parâmetros
Acústicos.....48

Obtenção de Modelo Matemático para a Avaliação
do Ruído de Tráfego em Belém-Pa.....58

O Engenheiro Acústico tem Lugar no Ministério da
Saúde? No Chile, Sim. No Brasil, Habilitam-se
Convergências e Novos Desafios.....71

O Estudo do Impacto de Vizinhança (EIV) Relativo
à Ocorrência de Emissões Sonoras.....80

Informações

Comemoração de aniversário de 30 anos da
SOBRAC.....89

II Workshop de Engenharia Mecânica da Região
Norte.....91

Editorial

Chegamos ao final de 2015, o qual ficou marcado pela comemoração dos 30 anos da SOBRAC, celebrado em um memorável evento no Rio de Janeiro-RJ, no mês de novembro, sob a coordenação da Professora Maria Lygia Alves de Niemeyer.

Os desafios são grandes e o país enfrenta uma crise de grandes proporções, porém, vemos um crescimento na demanda por projetos e serviços nas áreas de Acústica e Vibrações, seja pela consciência crescente em relação a ambientes melhor qualificados, seja pela pressão advinda da NBR 15.575.

Dessa forma, torna-se ainda mais relevante a produção de pesquisa nas referidas áreas do conhecimento, enfatizando a importância da nossa Revista Acústica e Vibrações, como principal veículo nacional de divulgação das pesquisas científicas produzidas pelos membros de nossa sociedade.

Por fim, aproveitamos este espaço para, mais uma vez, agradecer a todos que contribuíram com o envio de artigos para esta Revista, subsidiando assim um crescimento contínuo e sólido da mesma e, conseqüentemente, da nossa Sociedade Brasileira de Acústica.

Gustavo da Silva Vieira de Melo
Newton Sure Soeiro

Análise da Paisagem Sonora de Quatro Parques Públicos na Amazônia Brasileira

SOARES, A.C.L.*#; COELHO, T.C.C.*; COELHO, J.L.B.#

* Núcleo de Engenharia e Arquitetura, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Brasil, loboso@museu-goeldi.br

+ Núcleo de Engenharia e Arquitetura, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Brasil, thamysoelho@gmail.com

CAPS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, bcoelho@ist.utl.pt

Resumo

Com cerca de 1,4 milhão de habitantes, a cidade de Belém localiza-se no norte do Brasil, na região conhecida como Amazônia brasileira. Esta cidade tropical possui belos parques públicos urbanos construídos no início do século XX, que recebem um número grande de visitantes em busca de recreação e lazer. Estes parques, inicialmente circundados por residências térreas, hoje se encontram em meio a grandes centros comerciais, de serviço e arranha céus, onde uma parcela da população brasileira passou a residir, como impacto da urbanização no país. As paisagens sonoras de quatro parques públicos com diferentes tipologias, dois deles de acesso livre nas 24 horas e outros dois com visitação controlada, são aqui analisadas. As medições sonoras efetuadas indicam uma forte influência do tráfego rodoviário, de obras de construção civil e atividades recreativas em suas paisagens sonoras, enquanto os usuários identificam sons de pássaros, vento nas árvores, natureza e tranquilidade. Estes resultados aparentemente opostos, mas na verdade complementares, envolvendo variáveis físicas e psicológicas, são apresentados e discutidos neste artigo. Estes resultados representam uma contribuição brasileira aos estudos de paisagens sonoras urbanas e de “*quiet areas*”, que vêm se desenvolvendo com menor frequência em países como o Brasil. Trata-se, ainda, de importante ferramenta de apoio ao planejamento urbano das cidades brasileiras, em especial às intervenções em seus parques públicos visando valorizar as componentes sonoras de suas paisagens.

Palavras-chave: Amazônia. Belém. Paisagem sonora. Parque urbano. Poluição sonora.

1. Introdução

A cidade de Belém na Amazônia brasileira é um exemplo de metrópole que concentra a maior parcela de infraestrutura de abastecimento, transporte e lazer nos seus primeiros eixos de expansão. Nestes eixos, que sofreram intensa verticalização a partir dos anos de 1970, se encontram quatro importantes parques públicos de relevância histórica, social, cultural e ambiental para a cidade: o Jardim Botânico Bosque Rodrigues Alves (BRA); as praças da República (PRE) e Batista Campos (PBC); e o Parque Zoobotânico do Museu Paraense Emílio Goeldi (PZB).

Os sons percebidos no ambiente urbano com conotação negativa (ruído) têm se mostrado um desafio a saúde dos indivíduos [1-2] nas atividades que desempenham em espaços públicos, incluindo as de lazer, sendo considerados um problema ambiental em crescimento.

O ambiente sonoro urbano resulta da contribuição de múltiplas fontes sonoras, sendo as principais indústrias, construção civil, e tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo. Os parques urbanos representam espaços onde a qualidade do ambiente sonoro é geralmente melhor do que aquela que os

usuários encontram no seu entorno e onde estes vão à procura de tranquilidade e restauração psicológica. A influência das emissões das fontes sonoras urbanas típicas, sobretudo tráfego rodoviário, nos parques públicos compete com sons igualmente antropocêntricos (vozes humanas, crianças brincando) mas mais agradáveis e outros de origem natural (animais, água em movimento) percebidos geralmente também como agradáveis. Estes parques oferecem uma paisagem sonora, entendida aqui como a composição de todos os sons presentes em determinada área ou região diferenciada e percebida pelo usuário no seu contexto [3-6] e que tem sido estudada com cuidado. No Brasil, os estudos sobre qualidade ambiental de parques públicos, com ênfase na paisagem sonora, estão apenas iniciando [7-11].

As condições ambientais de um espaço público influenciam diretamente a qualidade de vida e o bem-estar dos indivíduos que o frequentam, pois envolvem questões subjetivas e valores culturais. Portanto, o estudo da paisagem sonora urbana requer a obtenção de dados físicos, entrevistar seus usuários *in situ* [12], e estudar a correlação entre as características acústicas e outras do lugar com as atividades e expectativas dos usuários [5, 13-14].

Neste artigo descreve-se o processo de caracterização da paisagem sonora de quatro parques públicos de Belém, usando como parâmetro a percepção subjetiva de usuários - sobre o ambiente geral e o ambiente sonoro - e uma correlação entre os níveis sonoros medidos em campo e os valores das normativas de conforto vigentes, conforme metodologia específica a seguir.

2. Metodologia

Para caracterizar a paisagem sonora do BRA, PRE, PBC e PZB, e avaliar os fatores que a influenciam, procederam-se as seguintes etapas:

1- Pesquisa bibliográfica e levantamento de dados relacionados à circulação de veículos de transporte público (ônibus) no entorno dos parques [15] e ao uso do solo nas quadras imediatamente adjacentes aos quatro parques [16]. Estes dados são necessários para melhor compreensão da influência dos aspectos urbanísticos nos resultados das medições sonoras e conseqüentemente sobre a qualidade ambiental dos parques;

Estudo cartográfico e verificação das condições meteorológicas para planejamento dos trabalhos de campo;

2.1 - Execução de trabalho de campo para caracterização acústica dos parques através de (i) medições de níveis sonoros, (ii) realização de entrevistas aos usuários e (iii) observação do caráter das paisagens sonoras nos diferentes lugares dos parques, de acordo com a programação da Tabela 1.

Foram feitas medições sonoras e entrevistas aos usuários em diferentes dias de semana, incluindo domingos mas excluindo as segundas-feiras, por serem os dias de limpeza e manutenção dos parques de acesso controlado (BRA e PZB), quando não há visitação pública.

Tabela1: Programação do trabalho de campo

Semana	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia
	Quarta	Quinta	Sexta	Domingo
1ª	PZB	BRA	PRE	PBC
2ª	PRE	PZB	PBC	BRA
3ª	BRA	PBC	PZB	PRE
4ª	PBC	PRE	BRA	PZB

2.i- Em pontos pré-determinados, foram obtidos dados físicos através de medição dos níveis de

pressão sonora (L_{Aeq}) com um sonômetro da marca *Brüel & Kjaer 2270*, seguindo as recomendações estabelecidas pela norma NBR 10151 [17]. Também foram realizadas contagens de veículos nas vias de entorno dos parques, com uso do aparelho manual *Veeder Root*;

Fez-se a ratificação *in situ* dos dados meteorológicos verificados na etapa pré-campo, com uso do termo anemômetro digital portátil da fabricante *Instrutherm*, modelo TAD-500;

2.ii- Aplicação de questionário semiestruturado visando identificar como os usuários se relacionam com o espaço público, a frequência e o tempo de permanência nestes, e como percebem a paisagem sonora dos quatro Parques.

Os questionários utilizados nas entrevistas aos usuários dos parques pretenderam identificar: os seus bairros de origem; a motivação para a visita; os aspectos mais agradáveis nos parques; os sons percebidos, os mais agradáveis e os desagradáveis; a percepção dos entrevistados sobre a qualidade sonora ao entrar ou sair dos mesmos e, por último, uma apreciação do nível sonoro do ambiente e do grau de incômodo de seus frequentadores.

Os parâmetros subjetivos correspondem a aspectos particulares, relacionados à percepção do ambiente sonoro urbano "natural" em co-ocorrência multissensorial [18], ou seja, a avaliação de um ambiente sonoro depende do conforto de todos os sentidos e de como este é utilizado no momento da entrevista pelo usuário.

2.iii- Identificação dos lugares diferenciados dos parques, das suas paisagens sonoras e das atividades dos usuários.

Foram identificadas auditiva e visualmente as diferentes fontes sonoras contribuintes para os ambientes sonoros distintos dentro do mesmo parque, a correlação entre percepção visual e percepção auditiva e observada a ocupação pelos usuários nos diferentes locais.

3- Armazenamento dos dados de medições em campo em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando-se o software ArcMap GIS, visando à análise visual e à apresentação gráfica dos resultados das medições de L_{Aeq} ;

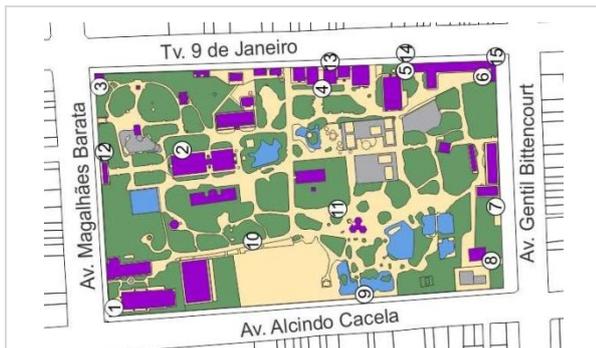
4- Comparação dos valores de L_{Aeq} obtidos em campo aos valores recomendados pela NBR 10151 [17] e OMS [1] para o conforto dos indivíduos.

5- Organização, análise e interpretação dos resultados das entrevistas. Correlação entre respostas subjetivas e resultados das análises de campo;

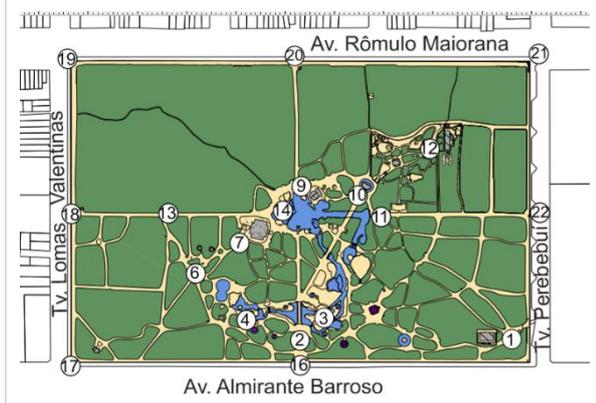
6- Apreciação das paisagens sonoras nos diferentes locais no sentido do conforto e bem-estar dos usuários.

3. Resultados

(Figura 1a). No BRA, avaliaram-se 19 pontos, dos quais 12 situados nas trilhas em seu interior e sete nas calçadas externas (Figura 1b). Na PBC, foram estudados nove locais, distribuídos uniformemente pelo polígono que forma este parque (Figura 1c). Na PRE, o estudo incidiu em 10 pontos, distribuídos nas principais trilhas e locais de concentração de visitantes (Figura 1d).



a) Parque Zoobotânico do MPEG - PZB



b) Jardim Botânico Bosque Rodrigues Alves – BRA



c) Praça Batista Campos – PBC



d) Praça da República - PRE

3.1 Caracterização acústica.

Para o PZB, foram obtidos dados físicos em 15 pontos, dos quais 12 localizados dentro dos limites do parque e três nas calçadas perimetrais externas

Figura 1: Posicionamento dos pontos de medição acústica sobre os quatro parques públicos da cidade de Belém; a) PZB; b) BRA, c) PBC e d) PRE.

A Tabela 2 sintetiza as características de uso do solo no entorno dos parques. Fica claro que o uso predominante no entorno é o residencial.

Tabela 2: Uso do solo de entorno dos parques.

Parque	Uso residencial (%)	Uso comercial e de serviços (%)
PZB	78,95	19,40
BRA	90,43	8,10
PBC	56,27	40,48
PZB	60,17	36,38

As vias de entorno dos parques revelam densidades de tráfego muito altas responsáveis por elevados níveis sonoros. A Tabela 3 mostra uma hierarquização pela frequência de veículos de transporte coletivo/hora, segundo dados da Prefeitura Municipal de Belém [15].

A contagem em campo compreendeu veículos de passeio, ônibus, caminhões, motos e vãs. A Tabela 3 mostra valores bem distintos de densidades de tráfego de ônibus durante a semana e aos domingos.

Tabela 3: Frequência de ônibus/hora no entorno dos parques.

Parque	Avenida / Travessa / Rua	Nº Ônibus / Hora	
		Semana	Domingo
PZB	Magalhães Barata	232	120
	Gentil Bittencourt	170	102
	Alcindo Cacela	19	13
BRA	Almirante Barroso	502	287
	Lomas Valentinas	93	54
	Rômulo Maiorana	62	37
PBC	Mundurucus	112	64
	Padre Eutíquio	70	40
	Serzedelo Corrêa	47	20
PRE	Assis de Vasconcelos	478	273
	Nazaré	339	178
	Presidente Vargas	244	140

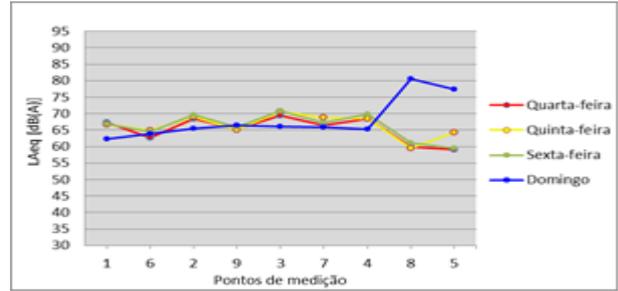


Figura 3: Variação de L_{Aeq} na PBC nos dias da semana e domingo.

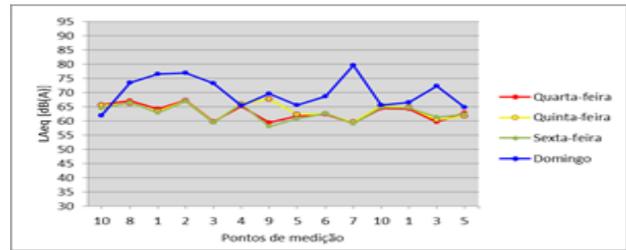


Figura 4: Variação de L_{Aeq} na PRE nos dias da semana e domingo.

As Figuras 5 a 8 apresentam mapas da distribuição sonora nos parques, para os dias úteis e o domingo. Eles foram determinados a partir dos valores de L_{Aeq} medidos (apresentados nas Figuras 2, 3 e 4) utilizando software de georreferenciamento que contempla as propriedades de propagação das ondas sonoras com a distância [19] mas desconsidera barreiras como edificações e vegetação.

Os registros dos níveis sonoros nos diferentes dias da semana não apresentaram diferenças significativas, conforme mostram as Figuras 2 a 4 para os parques BRA, PBC e PRE. No entanto, em alguns pontos de medição, os registros efetuados aos domingos revelam diferenças, evidenciando a influência, por um lado, do ruído do tráfego rodoviário e por outro da maior frequência de usuários e suas distintas atividades durante os domingos.

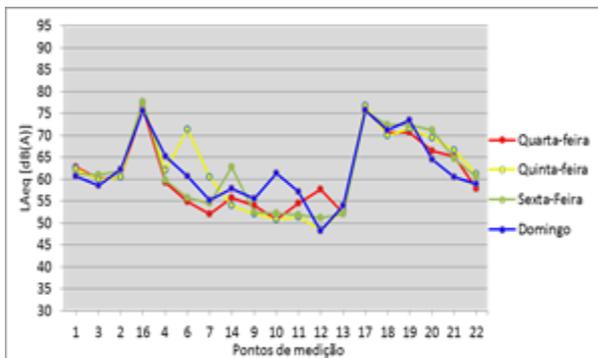


Figura 2: Variação de L_{Aeq} no BRA nos dias da semana e domingo.

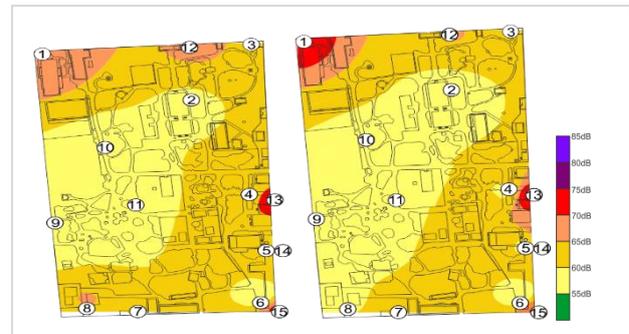


Figura 5: Mapa da distribuição sonora do PZB na quarta-feira (lado esquerdo) e domingo (lado direito).

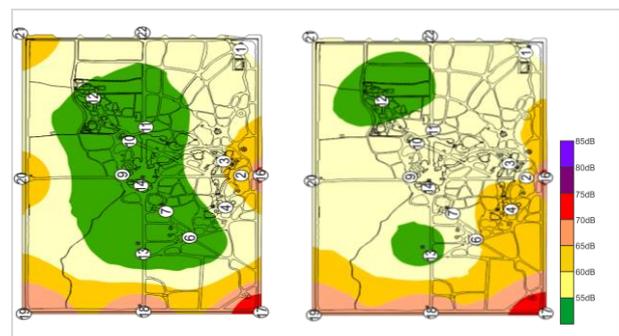


Figura 6: Mapa da distribuição sonora do BRA na quarta-feira (lado esquerdo) e domingo (lado direito).

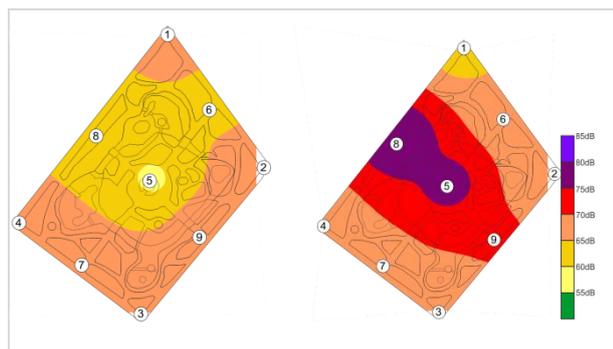


Figura 7: Mapa da distribuição sonora da PBC na quarta-feira (lado esquerdo) e domingo (lado direito).

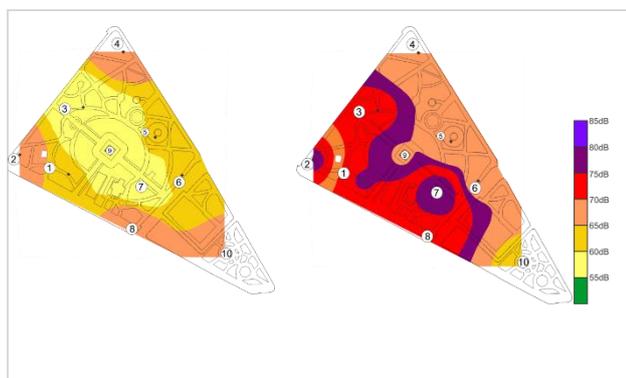


Figura 8: Mapa da distribuição sonora da PRE na quarta-feira (lado esquerdo) e domingo (lado direito).

3.2 Entrevistas.

A maioria (60 a 82%) dos entrevistados no Bosque Rodrigues Alves (BRA) vem de bairros distantes, localizados a mais de 2km. Na Praça Batista Campos (PBC) ocorre o contrário, 71% dos seus usuários vêm de bairros contíguos ou do próprio em que esta se encontra. Na Praça da República (PRE), durante a semana, 45,8% dos frequentadores vêm de bairros distantes e no domingo 40%. No Parque Zoológico (PZB) 62,5% dos entrevistados vêm de bairros distantes, inclusive contatou-se o maior número deles vindos de outros estados do país, devido a sua condição de ponto turístico tradicional em Belém.

O “lazer” e a “contemplação” do ambiente mostraram ser as atividades predominantes da motivação dos usuários para suas visitas aos parques. O “lazer” é referido para o BRA por 60% dos entrevistados durante a semana e 80% no domingo, ou para a PRE por 58,3%. A “contemplação da natureza” surge em 19% das respostas do BRA, em 38,7% do PBC e em 49,6% do PRE. Para 73% dos usuários do BRA, 70,8% do PZB, 58,9% da PBC e 56% da PRE a natureza é o aspecto mais agradável, seguida pelo clima, a tranquilidade e os demais aspectos em conjunto.

O interesse no desenvolvimento de “atividades físicas” só ocorreu no meio da semana e a

marcação de “encontro” na sexta-feira e no domingo. Outros motivos foram a “atividade comercial” (8,9%) e o “encontro” com terceiros (6,12%). Na PRE, a busca de “atividade educativa” (3,7%) foi referida como único parque onde esta motivação foi registrada.

Entre os “sons mais percebidos e identificados”, o som do “tráfego rodoviário” dividiu a opinião dos entrevistados com o da “natureza” durante a semana e, nos domingos, com o das “atividades humanas”. Estas últimas foram mais percebidas no BRA (47%) enquanto que os sons da natureza predominaram no PZB (64,6%) e no BRA (38%). O som do tráfego rodoviário foi sentido durante a semana na PBC (45%) e na PRE (38,5%), sendo que nos domingos, foi mascarado pelos sons das garças brancas (*Egretta thula* e *Ardea alba*) e seus filhotes nos ninhos das sumaumeiras (*Ceiba pentandra*) na PBC e das atividades humanas (40%) na PRE.

Os sons “da natureza” foram considerados os “mais agradáveis” pelos frequentadores do BRA (83%), do PZB (80%), da PRE (75,6%) e da PBC (64%), tanto na semana como no domingo. Depois destes, os sons de “atividades humanas” foram avaliados positivamente na PBC e PRE, as quais recebem eventos musicais, feiras e outras atividades de lazer que atraem muitos visitantes nos finais de semana.

Quanto aos sons considerados “desagradáveis”, os produzidos pelo “tráfego rodoviário” foram os mais referidos na PRE (54,4%), seguida da PBC (50,4%) e do BRA (36,1%). No PZB, 65% dos usuários responderam que não há som desagradável e 25,8% identificaram o tráfego rodoviário como o som mais desagradável. Depois do tráfego rodoviário, os sons de um evento no ginásio da Universidade do Estado do Pará – UEPA, situado na quadra ao lado do BRA pela Av. Alm. Barroso, foi o mais referido como “desagradável”.

É interessante notar que a maioria dos entrevistados identificou que “a qualidade sonora muda” ao entrar nos parques, sendo esta percepção mais marcante no PZB (91,7%), seguido pelo BRA (84,5%), PBC (87,1%) e PRE (72,8%).

Quanto ao “nível sonoro do ambiente”, a maioria dos frequentadores dos parques o considerou “normal”. O BRA (78%) e o PZB (77,9%), maiores em tamanho e com mais vegetação, foram avaliados de forma mais positiva que a PBC (57,8%) e a PRE (54,4%). Entre os quatro parques públicos, a PRE foi a que recebeu a avaliação de nível sonoro mais “alto” (28,9%) e o PZB (13,3%) a mais baixa.

A maioria dos entrevistados nos quatro parques (entre 66,1% e 88,7%) respondeu que o nível sonoro do ambiente “não incomoda”. Para 7% a 16,7% incomoda “mais ou menos” e apenas 4% a 9,4% responderam incomodar-se “bastante” com o nível sonoro do ambiente.

4. Análise e discussão

Com relação ao padrão do uso do solo das quadras de entorno dos parques (Tabela 2), foi possível perceber que o uso residencial predomina sobre os demais. É importante apreciar os valores de L_{Aeq} em relação às características de uma determinada comunidade.

Observou-se que o entorno do BRA é o que possui maior proporção de residências por quadra, seguido do entorno do PZB, PRE, e, por fim, da PBC. O planejamento do uso do solo em áreas de entorno de parques públicos pode ser decisivo no controle e redução dos ruídos que afetam esses espaços, tendo em vista que atividades de comércio e serviço são responsáveis pela criação de polos geradores de tráfego e pessoas.

Quanto a circulação de veículos no entorno dos parques, a comparação dos dados sobre as linhas de ônibus urbanos que circulam nas vias de entorno com a contagem de veículos em campo, serviu para relacionar o volume de veículos por via com os níveis sonoros obtidos nas medições.

Observou-se, em relação aos veículos que trafegam pelas vias de entorno dos parques, que a tipologia influencia mais os resultados dos níveis sonoros que a quantidade destes. Esta conclusão se deve a constatação de que no BRA, PBC e na PRE as vias por onde circulam mais ônibus foram as que apresentaram maiores valores de L_{Aeq} nos mapas sonoros.

Em relação aos níveis sonoros no PZB, apenas um ponto apresentou durante a semana valor abaixo do limiar estabelecido pela NBR 10151 de 55dB(A), ver Figura 9. Os pontos 6 e 10 apresentaram recorrência positiva de valores de L_{Aeq} , os mais baixos de todas as medições. Estes dois pontos possuem em comum a proximidade de barreiras sonoras, como edificações e muros altos, que refletem os sons urbanos, principalmente àqueles de alta frequência, e geram sombra acústica no ponto de medição.

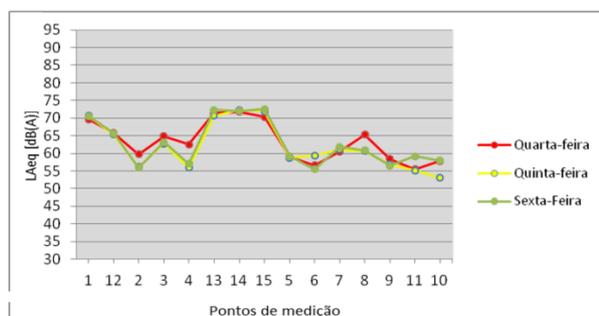


Figura 9: Variação de L_{Aeq} no PZB entre os dias da semana.

No BRA, identificaram-se valores abaixo do limite estabelecido na Norma em apenas seis pontos.

Ressalte-se que os baixos níveis de L_{Aeq} obtidos nesses pontos são consequência do decaimento da energia sonora com a distância, e pouca relação possuem com a vegetação existente no BRA. Os níveis de L_{Aeq} mais elevados foram identificados nos pontos próximos às vias de entorno (16 e 17), influenciados pelos sons do tráfego rodoviário na Av. Almirante Barroso e Trav. Lomas Valentinas, comprometendo acusticamente as atividades de lazer que ocorrem junto a estas vias.

Na PBC, os resultados das medições de L_{Aeq} mostraram que toda a sua área se encontra com níveis sonoros altos, que podem vir a prejudicar a saúde de quem a frequenta, seja para o lazer, a prática de esportes ou contemplação. Apenas três pontos apresentaram níveis de L_{Aeq} abaixo dos 60dB(A) normatizados para a área onde a PRE está inserida. Entretanto, esses resultados ainda se mostraram muito próximos do limite superior da NBR 10151, levando a considerar o espaço da PRE como de baixa qualidade acústica. Esta característica da PRE foi ratificada na análise subjetiva feita por seus usuários.

Na PRE e na PBC, os níveis sonoros não são suficientemente atenuados com a distância, devido às suas reduzidas dimensões e a ausência de barreiras físicas que contribuam para que o decaimento do L_{Aeq} se enquadre aos valores recomendados [1, 17]. Apesar da existência de muro no perímetro e diversas edificações no interior do PZB, os resultados de L_{Aeq} apresentam-se tão elevados quanto aos dos parques que não possuem estas barreiras.

A presença de vegetação pode atenuar os níveis sonoros, principalmente para altas frequências, entretanto, é necessário um cinturão de vegetação muito alto e largo para que esta funcione adequadamente como isolante ou dissipadora dos sons. Assim, como a vegetação dos parques estudados em Belém não possui esta característica, entende-se que o efeito desta na percepção sonora dos frequentadores é mais psicológica do que física. Mas esta é uma componente importante pois integra a paisagem sonora no sentido em que esta é o resultado da percepção.

A análise subjetiva da qualidade sonora dos quatro parques mostrou que o principal interesse dos usuários destes espaços é a “busca de lazer”, fazendo com que se desloquem de localidades distantes para visitá-los, mesmo que esporadicamente, como ilustram as respostas obtidas nas entrevistas.

Sobre o “aspecto mais agradável” dos quatro parques, a proximidade do visitante da natureza e a tranquilidade presentes em todos eles, foram os responsáveis pela maioria das assertivas. Observa-se que essa percepção é oposta aos resultados

quantitativos referentes aos valores registrados de L_{Aeq} , que apresentaram os quatro parques como locais acusticamente prejudicados. Ainda assim, a maioria dos entrevistados nos parques afirmou que a qualidade ambiental sonora no interior é “bastante” diferente daquela nas vias de entorno destes.

Os parques de acesso controlado (BRA e PZB) receberam as melhores avaliações sobre “intensidade” e “incômodo” sonoros do ambiente, e como já enfatizado, são os que apresentaram valores de L_{Aeq} de acordo com a Norma.

A maioria dos entrevistados nos quatro parques avaliou a qualidade ambiental desses espaços de forma positiva, em aparente contradição aos dados físicos de análise de sinal, onde o volume dos sons presentes na Paisagem foi considerado normal e não incomodou os usuários dos parques, habituados aos sons de Belém. Isso demonstra que os usuários encontram nesses parques urbanos um refúgio sonoro para os elevados níveis do seu entorno.

5. Conclusões

Compõem a paisagem sonora dos quatro parques: sons de animais, de pessoas, da natureza e do tráfego rodoviário, sendo os sons de animais e da natureza considerados os “mais agradáveis” e, portanto, àqueles que devem ser preservados e fortalecidos no ambiente dos parques de Belém.

Conforme os valores de L_{Aeq} obtidos em vários pontos de cada parque, conclui-se que a maioria deles se encontra em desacordo com o que determinam as Normas brasileiras e as recomendações da OMS para as áreas verdes. Os locais mais prejudicados acusticamente estão próximos às vias, onde há grande frequência de ônibus e uso do solo não residencial. Isto confirma a hipótese de que o processo de urbanização de Belém contribui para a degradação ambiental acústica dos quatro parques estudados.

Os parques com as maiores dimensões (PZB e BRA) apresentaram níveis sonoros bem mais próximos àqueles estabelecidos por norma, principalmente nos locais mais distantes das vias de entorno. Isso se deve nos dois casos ao decaimento natural da energia sonora com a distância e, no caso do PZB, à presença de muro em três das suas quatro fachadas. As respostas dos usuários foram coerentes nesta questão, uma vez que revelaram a percepção destes quanto a redução dos níveis sonoros em relação ao entorno dos parques.

No caso da PBC e PRE, essa atenuação com a distância não é suficiente para que os níveis sonoros se enquadrem as normas. Diferentemente dos demais, estes parques, por serem de acesso livre, possuem maior variedade de atividades e, conseqüentemente, sons em seu interior.

Portanto, o uso do solo; o volume de tráfego

rodoviário pesado no entorno; as dimensões e a tipologia dos parques públicos, somados aos usos culturais que lhes são dados, principalmente aos domingos, são os fatores que em conjunto contribuem para a caracterização das suas paisagens sonoras.

Tendo em vista que o conforto de um ambiente só pode ter sua qualidade julgada em função da satisfação de quem o utiliza, as entrevistas mostraram que a avaliação subjetiva não é totalmente coerente com os resultados das medições sonoras. A percepção da envolvimento sonora integra não apenas as características acústicas, mas também os resultados da percepção de outros sentidos em contexto com o local e com as atividades dos participantes.

A avaliação positiva desses espaços pelos entrevistados, contudo, não deve ser tomada como um motivo de despreocupação, tendo em vista que a habituação ao ruído urbano intenso pode levar a deterioração da qualidade dos espaços e, por conseguinte, de vida dos seus usuários. No entanto, as apreciações subjetivas revelam que os parques urbanos de Belém estudados oferecem uma paisagem sonora com componentes agradáveis exercendo a sua função urbana de contraponto à agressividade da paisagem dominada pelo tráfego.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil e da Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal (FCT, projeto estratégico I&D CAPS-IST-ID).

Referências

- [1] Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.: *Guidelines for Community Noise*, WHO Report, 1999.
- [2] Good practice guide on noise exposure and potential health effects, *EAA Technical report*, Nº 11/2010, 2010.
- [3] Schafer, R. M.: *The Tuning of the World*, Knopf, New York, 1977.
- [4] Kang, J.: *Urban Sound Environment*, Taylor & Francis, London, 2007.
- [5] Bento Coelho, J. L.: A paisagem sonora como instrumento de design e engenharia em meio urbano, In: *XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC)*, Salvador da Bahia, Brasil, 2010.
- [6] ISO/DIS 12913-1 *Acoustics — Soundscape — Part 1: Definition and conceptual framework*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2013.
- [7] Moraes, Elcione, Lara, Neyla: Mapa acústico de Belém. In *Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído*, v.8, 2004.

-
- [8] SZEREMETA, Bani. *Avaliação e percepção da paisagem sonora de parques públicos de Curitiba – PR*. Curitiba, 2007. Dissertação. Mestrado em Engenharia Mecânica. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/11331/1/dissertacao_083_bani_szeremeta.pdf>. Acesso em: 11 jul. 08.
- [9] Zannin, Paulo Henrique Trombetta et al : Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR. *Rev. Saúde Pública*, v. 36, n. 4, p. 521-4, 2002.
- [10] Lobo Soares, A.C.: Impactos da Urbanização Sobre Parques Públicos: Estudo de caso do Parque Zoobotânico do Museu Paraense Emílio Goeldi. *Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano*, Universidade da Amazônia, 2009.
- [11] Holtz, Marcos C. B.: Avaliação qualitativa da paisagem sonora de parques urbanos. Estudo de caso: Parque Villa Lobos, em São Paulo, *Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo*, Universidade de São Paulo, 2012.
- [12] Yang, W., Kang, J.: Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Applied Acoustics*, v. 66, n. 2, p. 211-229, 2005.
- [13] Brown, A. L.: An Approach to the Acoustic Design of Outdoor Spaces, *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 47, Nº. 6, 827-842, 2004.
- [14] Siebein, Gary W.: Essential Soundscape Concepts for Architects and Urban Planners, In: *Designing Soundscape for Sustainable Urban Development*, Stockholm, Suécia, p. 26-30, 2010.
- [15] AMUB - Autarquia de Mobilidade Urbana de Belém. *Relação de linhas de ônibus, com frota e frequência circular*, 2012.
- [16] CODEM—Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém. *Carta de levantamento cadastral da Grande Belém*, 1998.
- [17] NBR 10151. ABNT—Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10151: *Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento*. Brasil, 2000.
- [18] Raimbault, M. et al.: Ambient sound assessment of urban environments: field studies in two French cities. *Applied Acoustics*, v. 64, p. 1241–1256, 2003.
- [19] ISO 9613-2:1996: *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 2: General method of calculation*.

Análise de Parâmetros Acústicos em Edificações de Ensino e Pesquisa Utilizando a NBR 15.575: Um Estudo de Caso

BRAGA NETO, G. A. N.; QUIXABA, G. S.; GUIMARÃES, J. M. F.; CONTENTE, C.O.; ALENCAR, W.L.M.; SÁ, D.T.; MELO, G.S.V.; SOEIRO, N. S.; SETUBAL, F. A. N*.

*Grupo de Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém,PA, gmelo@ufpa.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo acústico de edificações utilizadas para ensino e pesquisa da Universidade Federal do Pará. Tomou-se como base os procedimentos propostos na norma NBR 15.575 que caracteriza o desempenho de edificações habitacionais, considerando os recintos como unidades habitacionais autônomas em que pelo menos um dos ambientes seja um dormitório, para que os resultados encontrados fossem compatíveis com o da norma. Após realizadas as medições em todos os ambientes propostos, os níveis de desempenho e conforto acústico foram considerados satisfatórios, de acordo com a norma utilizada como referência.

Palavras-chave: NBR 15575; Ruído de Impacto. Ruído Aéreo. Desempenho Acústico. Edificações.

1. Introdução

Dependendo do tipo de ambiente, como hospitais e salas de aula, faz-se necessário um combate maior à poluição sonora. Em salas de aula, tendo em vista que atividades de pesquisa e ensino demandam maior concentração, para que haja uma maximização da produção do conhecimento e também do aprendizado, o controle da poluição sonora é requerido em ambientes acadêmicos, como em edificações presentes em uma universidade por exemplo.

Com base nos dados da Organização Mundial de Saúde OMS, a poluição sonora é a segunda maior poluição que afeta a população mundial, ficando atrás apenas da poluição da água (Who, 2010). E segundo Bistafa (2011), a maioria dos ruídos geram efeitos indesejáveis e prejudiciais à saúde do ser humano, como por exemplo: danos fisiológicos, pois em níveis elevados, o ruído pode causar perdas auditivas além de aumento na pressão arterial; podem causar danos psicológicos como incômodos, stress, perda de sono e falha na concentração, além de danos mecânicos e falhas estruturais.

Dentro do âmbito habitacional, diversos autores realizaram trabalhos visando a análise da perda de transmissão entre ambientes, Kalef (2001) por exemplo, realizou um trabalho que apresentou a solução para o empreendimento em fase de projeto, focando no sistema de pisos flutuantes e utilizando a lã de vidro como material resiliente. Esse método, apesar de não eliminar totalmente o ruído, apresentou excelentes resultados e constatou que a

melhor forma de reduzir o ruído de impacto é através do amortecimento. Já Yabiku (2010) apresentou um trabalho relacionado ao desempenho acústico de paredes compostas, utilizando a mesma norma utilizada neste trabalho, concluindo a forte influência do posicionamento das portas e janelas para a correta avaliação acústica do Dnt,w de uma parede composta.

No que concerne à ambientes para estudo, Marros (2011) utilizou diversas considerações para realizar a caracterização acústica de salas utilizadas na prática de ensino musical. Em seu trabalho, foi utilizada a norma ISO 3382 de procedimento aplicada à auditórios e como resultado constatou que a maioria das salas analisadas apresentaram péssimo desempenho acústico, influenciando negativamente o processo de aprendizagem.

Mesmo se fazendo necessário o controle de ruídos em salas de aula, não existem normas específicas para o desempenho de edificações na qual se desenvolvem atividades acadêmicas e de pesquisa. Por conta disso, um estudo quanto ao isolamento de ruído aéreo e de impacto foi realizado em três prédios de pesquisa e ensino da Universidade Federal do Pará (UFPA), se utilizando da norma NBR 15.575 que trata de edificações habitacionais. Para a análise de resultados obtidos foi considerado que cada recinto analisado se comporta como uma unidade habitacional autônoma em que pelo menos um dos ambientes fosse um dormitório. Essa consideração foi feita, pois ao avaliar a geometria do recinto, seus conteúdos internos (móveis, equipamentos, etc.) e o nível de concentração que

os usuários necessitam, ficou mais próximo da realidade considerá-lo de tal maneira.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Acústica Arquitetônica

Atualmente, a preocupação acústica não é apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também o controle de ruído e preservação da qualidade ambiental. A questão acústica urbana passou a ter mais importância do que até então, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior, e as consequências desses ruídos para o homem são cada vez mais prejudiciais (SOUZA et al., 2009). Ela está ligada ao condicionamento e a isolamento acústico de edificações em geral. Tal condicionamento pode ser feito por meio de experimentos ou por meio de simulações utilizando um modelo computacional para se obter os parâmetros acústicos desejados.

No caso de edificações, o ruído pode ser gerado por diversas fontes, como as aéreas e/ou as estruturais. O som gerado por uma conversa, por instrumentos musicais, por equipamentos ou tráfego urbano são exemplos de fontes de ruído aéreo. Já o impacto em pisos e o ruído hidráulico são exemplos de ruído estrutural. Este, portanto, é gerado por vibrações devido a impactos e/ou excitações dinâmicas de diversas naturezas, em componentes da edificação; pisos, paredes, coberturas, entre outros.

2.2. Isolação Entre Paredes

Uma parede colocada entre dois recintos age de modo a atenuar a propagação de energia sonora de um ambiente para o outro (GERGES, 1992). Isso ocorre por conta da frente de onda sofrer uma mudança duas mudanças de meio ar/parede e parede/ar e sempre que há uma mudança de um meio para outro com características distintas, há uma redução da intensidade sonora entre recintos (BISTAFA, 2011).

Segundo Gerges (1992), as características de materiais ou dispositivos para isolamento acústico (enclausuramentos, divisórias, etc.) podem ser estabelecidas através das seguintes grandezas físicas: Perda de transmissão (PT) e/ou Diferença de Nível.

A norma NBR 15.575 estabelece que a grandeza física utilizada seja a Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D'_{nT,w}$).

2.3. Isolação de Ruído de Impacto

O ruído de impacto em edificações tem origem na excitação da laje por contato, causado pela queda de um objeto por exemplo. A laje irá irradiar energia sonora em ampla faixa de frequências, pois o impacto sofrido irá causar-lhe movimento vibratório.

Para que haja uma redução do ruído de impacto entre um ambiente superior e um inferior teoricamente se poderia aumentar a espessura da laje, porém é uma alternativa inviável, pois os custos seriam mais elevados e poderia gerar problemas estruturais na edificação. A alternativa mais é a introdução de um material resiliente entre a laje estrutural e o contra piso (GERGES, 1992).

A norma NBR 15.575 estabelece que a grandeza física a ser utilizada para medir a capacidade de uma laje em transmitir sons de impacto é o Nível de pressão sonora padrão de impacto ($L'_{nT,w}$).

2.4. Análise de Desempenho Acústico em Edificações

Avaliar edificações quanto a qualidade acústica de seus ambientes está intimamente relacionada ao conforto e segurança de seus usuários. Um ambiente acusticamente confortável visa proporcionar silêncio (isolação) e atenuação dos níveis de maneira psicologicamente agradável, pois um ambiente muito silencioso se torna uma experiência incomoda, e níveis elevados prejudicam o entendimento e concentração, e baixa atenuação sonora dificulta a inteligibilidade da fala.

Como a NBR 15.575 avaliar unidades habitacionais, esse trabalho estabeleceu uma suposição entre ambientes institucionais e de habitações para realizar uma analogia entre os mesmos, por exemplo, um acadêmico em sala de aula necessita de um nível sonoro semelhante de um morador em seu dormitório. Levanto em conta que morador e usuário buscam experiências acústicas próximas, mas com objetivos diferentes, pode ser utilizar dos critérios da NBR 15.575, conseqüentemente os resultados encontrados são análogos para a tipologia de edificação investigada.

3. Metodologia

3.1. Realização dos ensaios

Os instrumentos utilizados para a medição do ruído aéreo de impacto foram:

- Analisador do nível de pressão sonora tipo 2260, Brüel e Kjaer, certificado de calibração 25/09/2014;
- Calibrador tipo 4231, Brüel e Kjaer, certificado de calibração 25/09/2014;
- Tapping machine, Brüel & Kjaer, type 3207;
- Microfone do tipo campo difuso, tipo 4189, Brüel & Kjaer, sensibilidade 51,5 mV/Pa, nível de confiança 95%;
- Pré-amplificador tipo 2716, Brüel & Kjaer;
- Fonte dodecaédrica tipo 4296, Brüel & Kjaer;

Foram realizados ensaios de desempenho acústico em três edificações da UFPA: o prédio da Faculdade Engenharia Naval (FENAV) e da Pós-Graduação do Instituto de Tecnologia (PGITEC).

Em cada prédio foram escolhidos três recintos de modo que dois deles ficassem imediatamente lado a lado, e outros dois imediatamente um acima do outro, como mostra a Figura (1).

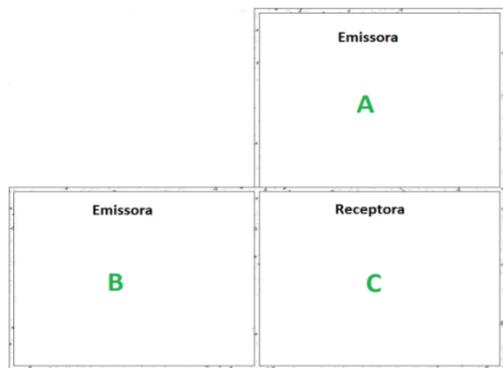


Figura 1: Disposição dos recintos

Fonte: Adaptado de SANTANA, 2015.

Assim, a sala A se comporta como emissora do ruído aéreo entre pisos e o de impacto, a sala B como emissora do ruído aéreo entre paredes e a sala C como a receptora dos ruídos.

3.2. Procedimentos normalizados

3.2.1. Para o ensaio de ruído de impacto

Os ensaios foram realizados seguindo os procedimentos da norma ISO 140-7, que trata sobre ruído de impacto. O $L'nT$ é obtido segundo a equação:

$$L'nT = L_i + 10 \log (T/T_0) \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

- L_i é o NPS medido na sala emissora;
- T é o tempo de reverberação da sala receptora;
- T_0 é o tempo de reverberação de referência, 0,5 segundos;

O ruído de impacto é provocado pela Tapping machine. Ela foi posicionada em quatro pontos distintos no piso da sala emissora, enquanto que na sala receptora foram utilizadas quatro posições aleatórias de microfone cada uma a 1,2 metros do piso, para cada posição da Tapping machine, totalizando 16 medições. Os valores de NPS L_i foi obtidos tirando uma média logarítmica dos resultados das 16 medições.

Além dos valores de L_i , segundo a norma, se faz necessário obter as características reverberantes da sala receptora medindo-se o tempo de reverberação (T) na

de Artes Visuais (FAV), da Faculdade de

mesma. Para tanto foram utilizadas 3 posições aleatórias e distintas de fonte sonora a 1,5 m do piso e a 1 m de qualquer superfície refletora (paredes, móveis, etc.), e duas posições distintas de microfone a 1,2 m do piso e a 1 m de qualquer superfície refletora, para cada posição de fonte, totalizando 6 medições de tempo de reverberação. Desses dados foi retirada uma média e obtiveram-se os valores de T por banda de 1/3 de oitava.

Segundo ISO 140-7, quando a diferença entre o nível de ruído de impacto na sala receptora e o nível de ruído de fundo for menor que 10 dB, é necessário utilizar uma tabela de correção fornecida por esta. No caso da diferença entre o ruído de fundo e o nível de ruído de impacto ser menor que 3 dB, é impossível realizar este experimento e obter resultados satisfatórios (SANTOS, 2015). Isso é válido também para o ensaio de ruído aéreo.

De posse dos valores de $L'nT$ por banda de frequência, são utilizados os procedimentos da norma ISO 717-2 para caracterizar o sistema de isolamento ensaiado. Tal norma irá nos fornecer um valor único que corresponderá ao valor da frequência 500 Hz e representará o desempenho acústico ($L'nTw$).

De acordo com a ISO 717-2, para avaliar os resultados de uma medição de $L'nT$ em bandas de um terço de oitava (de preferência dadas com uma casa decimal), é utilizada uma curva de referência, onde são deslocados os valores da curva em passos de 1 dB para a curva medida até que, dividindo-se a soma dos desvios desfavoráveis (curva medida menos a curva da norma) por parte do número total de frequências de medição, obtenha-se um valor menor que 2 dB. A norma também prevê que se anotem as frequências onde o valor da diferença entre as curvas seja maior que 8 dB (SANTOS, 2015). Na tabela 1 são mostrados os valores de referência da curva.

3.2.2. Para os Ensaio de Ruído Aéreo

Os ensaios foram realizados seguindo os procedimentos da ISO 140-4, que aborda o ruído aéreo. Os valores por banda de frequência em 1/3 de oitava $D'nT$ são obtidos pela equação:

$$D'nT = L_1 - L_2 + 10 \log (T/T_0) \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

- L_1 é o NPS medido na sala emissora;
- L_2 é NPS medido na sala receptora;
- T é o tempo de reverberação da sala receptora;
- T_0 é o tempo de reverberação de referência, 0,5 segundos.

Tabela 1: Curvas de referência para o cálculo do ruído aéreo

Frequência (Hz)	L'nT – ISO 717-2 (dB)
100	62
125	62
160	62
200	62
250	62
315	62
400	61
500	60
600	59
800	58
1000	57
1250	54
1600	51
2000	48
2500	45
3150	42

Fonte: Autoria própria.

O ruído aéreo é gerado por uma fonte sonora dodecaédrica. Os valores de L1 são encontrados posicionando a fonte na sala emissora em duas posições aleatórias e distintas a 1,5 m do solo e a 1 m qualquer superfície refletora, e três posições de microfone também na sala emissora a 1,2 m do solo e a 1 m de qualquer superfície refletora, para cada posição da fonte.

Os valores de L2 são encontrados posicionando a fonte em duas posições aleatórias e distintas a 1,5 m do solo e a 1 m de qualquer superfície refletora da sala emissora, e três posições de microfone na sala receptora a 1,2 m do solo e a 1 m de qualquer superfície refletora, para cada posição da fonte.

Além dos valores de L1 e L2, segundo a norma, se faz necessário obter as características reverberantes da sala medindo-se o tempo de reverberação (T) na sala receptora. Para os ensaios

de ruído aéreo o T é obtido da mesma maneira que nos ensaios de impacto.

De posse dos valores em dB por banda de frequência dos D'nT são utilizados os procedimentos da norma ISO 717-1 para caracterizar o sistema de isolamento ensaiado. Tal norma irá nos fornecer um valor único que representará o desempenho acústico (D'nTw).

Os procedimentos para obtenção do D'nTw são semelhantes ao da norma ISO 717-2, no entanto utiliza a Tabela 2.

Tabela 2: Curvas de referência para o cálculo do ruído aéreo

Frequência (Hz)	D'nT – ISO 717-1 (dB)
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
600	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

Fonte: Autoria própria.

4. Resultados

Abaixo encontramos a tabela com os valores de D,nTw determinados pela NBR 15.575 quanto ao isolamento do ruído aéreo entre paredes para uma unidade habitacional autônoma com pelo menos um dos recintos sendo um dormitório:

Tabela 3: Valores de D'nTw quanto ao ruído aéreo entre paredes segundo a NBR 15.575.

Elemento	D'nTw (dB)	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	45 a 49	M
no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	50 a 55	I
	≥55	S

Fonte: Autoria própria.

Abaixo encontramos a tabela com os valores de D'nTw determinados pela NBR 15.575 quanto ao isolamento do ruído aéreo entre lajes, para uma unidade habitacional autônoma com pelo menos um dos recintos sendo um dormitório:

Tabela 4: Valores de D'nTw quanto ao ruído aéreo entre lajes segundo a NBR 15.575.

Elemento	D'nTw (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja um dormitório.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Fonte: Autoria própria

Tabela 5: Valores de L'nTw quanto ao ruído de impacto segundo a NBR 15.575.

Elemento	D'nTw (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤55	S

Fonte: Autoria própria

Abaixo encontramos a tabela com os valores de L'nTw determinados pela NBR 15.575 quanto ao isolamento do ruído de impacto entre lajes, para

uma unidade habitacional autônomas posicionadas em pavimentos distintos:

Para avaliar os valores de L'nT obtidos, foi utilizada a curva de referência dada na ISO 717-2 (Tabela 1). Com isso gerou-se o gráfico abaixo:

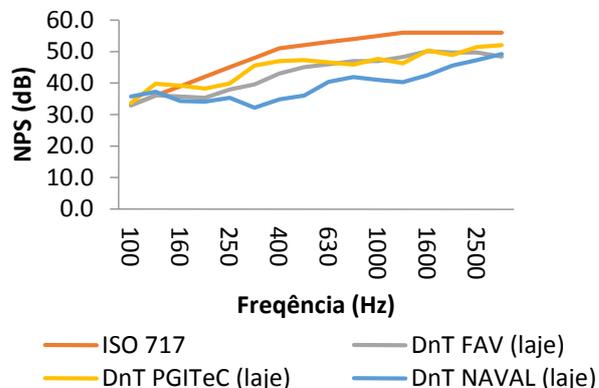


Figura 2: Gráfico de comparação entre os valores de ruído impacto entre em relação à curva padrão da ISO 717-2

Fonte: Autoria própria.

Para avaliar os valores de D'nT para o isolamento de ruído aéreo entre lajes (Figura 18) e o isolamento de ruído aéreo entre paredes (Figura 19), foi utilizada a curva de referência dada na ISO 717-1 (Tabela 2). Com isso gerou-se o gráfico abaixo.

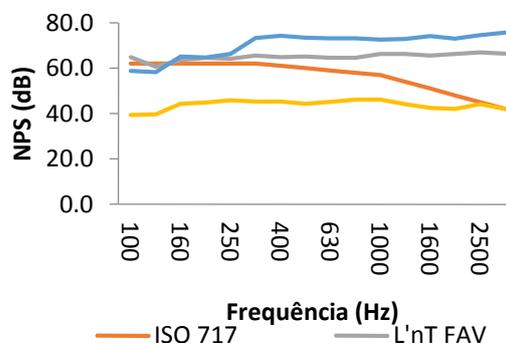


Figura 3: Gráfico de comparação entre os valores de ruído aéreo entre paredes em relação à curva padrão da ISO 717-1.

Fonte: Autoria própria.

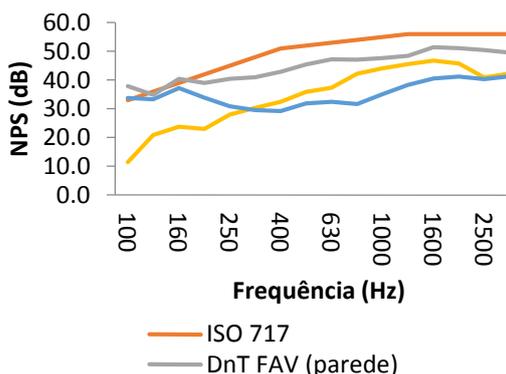


Figura 4: Gráfico de comparação entre os valores de ruído aéreo entre paredes em relação à curva padrão da ISO 717-1.

Fonte: Autoria própria.

Após a análise dos gráficos obtiveram-se os valores de $L'nTw$ e $D'nTw$ que correspondem a 500 Hz. O resumo dos resultados encontra-se na tabela abaixo.

Tabela 6: Resumo dos resultados de desempenho acústico.

Níveis Ponderados	FAV	PGITEC	NAVAL
DnT,w (entre sistemas de piso)	47 (dB)	48 (dB)	41 (dB)
DnT,w (entre paredes)	49 (dB)	38 (dB)	36 (dB)
$L'nT,w$	66 (dB)	45 (dB)	67 (dB)

Fonte: Autoria própria.

Comparando os valores da tabela 6 com os estabelecidos pela norma constatou-se que em todos os prédios os valores de $D'nTw$ e $L'nTw$ ficaram dentro da norma.

5. Conclusões

Levando em conta com as considerações realizadas os três prédios estudados na UFPA, conclui-se, que os três encontram-se dentro dos valores propostos, quanto aos parâmetros analisados. Nota-se também que a consideração feita a para a comparação dos valores de isolamento que os prédios estudados apresentam é válida, pois a qualidade do isolamento do ruído para ambos deve ser semelhante tendo em vista o nível de concentração exigido, a geometria das salas estudadas (volume, disposição de portas e janelas, etc) os seus conteúdos internos (mesas, cadeiras, armários, etc).

Nota-se, a importância de uma ampliação das normas brasileiras de desempenho acústico, para que os projetos arquitetônicos de prédios com finalidade de pesquisa e ensino levem em consideração um planejamento acústico mais elaborado.

Referências

[1] WHO, (WORLD HEALTH ORGANIZATION); **International society of hypertension guidelines for the management of hypertension. Guidelines Subcommittee**, 2010.

[2] BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Edgar Blücher, 2011.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575: Desempenho de Edifícios habitacionais**. Rio de Janeiro. 2013.

[4] KALEF, A. DE M. **Isolamento Acústico ao Ruído de Impacto em Edifícios Habitacionais**, Trabalho de Conclusão de Curso, UDESC, 2011.

[5] YABIKU, A. T., **Desempenho Acústico de Paredes compostas**, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP (2011).

[6] MARROS, F., **Caracterização Acústica de Salas Para Prática de Ensino Musical**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

[7] SOUZA, LÉA C. L.; ALMEIDA, MANUELA G.; BRAGANÇA, LUÍS; **Bê-a-bá da acústica arquitetônica**, São Carlos: Edufscar, 2009.

[8] GERGES S. N. Y. **Ruído Fundamentos e Controle**. Florianópolis: [s.n], 1992.

[9] SANTANA, W.B. Avaliação do Desempenho acústico de **Vedações Verticais e Horizontais em Edificações Residenciais segundo a NBR 155575 (ABNT, 2014)**. Qualificação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFPA. Belém, 2015.

[10] SANTOS, W.S. **Estudo do uso de tecnologias alternativas em pisos para controle de ruído de impacto em edificações**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFPA. Belém, 2015

Avaliação de Frequência, Temperatura e Atenuação da Dose de Ultrassom Terapêutico em Modelo de Biomembrana de Pele Suína

OLIVEIRA, G.¹; TASSINARY, J.A.F.²; BIANCHETTI, P.³; STÜLP, S.⁴

1-Fisioterapeuta, Centro Universitário UNIVATES, 95900-000, Lajeado – RS, Brasil.

2-Fisioterapeuta, Mestre em Ambiente e Desenvolvimento, Docente da UNIVATES, 95900-000, Lajeado – RS, Brasil.

3-Fisioterapeuta, Mestre em Biotecnologia, Docente da UNIVATES, 95900-000, Lajeado – RS, Brasil.

4-Química Industrial, Doutora em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Docente da UNIVATES, 95900-000, Lajeado – RS, Brasil.

Resumo

Introdução: O ultrassom terapêutico (UST) é utilizado na medicina regenerativa, profissionais da saúde evidenciam que o recurso é efetivo no tratamento de uma grande variedade de condições fisiopatológicas, principalmente ligadas ao sistema musculoesquelético e ao sistema tegumentar. Durante a prática clínica é fundamental que o profissional tenha consciência da relação de emissão de onda ultrassônica e a interação da mesma nas diferentes interfaces teciduais. Logo se faz necessário a realização de estudos acerca da transmissão de onda ultrassônica para o funcionamento e uso adequado do aparelho. **Objetivos:** verificar, *in vitro*, a frequência, temperatura e o percentual de atenuação emitidos pelo ultrassom em diferentes interfaces teciduais; epiderme, derme e tecidos moles. **Métodos:** Para a realização dos experimentos utilizou-se um sistema contendo pele de suíno acoplado sobre um corpo de prova (*phantom*). As variáveis foram analisadas no gel, epiderme, derme e no *phantom* em 10 e 18 mm. **Resultados:** Observou-se que a frequência de onda emitida se manteve em torno de 3 MHz até 1,8 cm de profundidade no corpo de prova. Sendo que a dose inicial programada no aparelho sofreu atenuação na medida em que passou pelas diferentes interfaces teciduais. **Conclusão:** O estudo mostrou que a frequência se manteve em todas as interfaces teciduais, já a intensidade sofreu atenuação na medida em que a onda ultrapassava diferentes camadas, quanto a temperatura a pesquisa mostra que houve maior aumento de calor na região dérmica.

Palavras-chave: Ultrassom. Reabilitação. Atenuação.

1. Introdução

É com satisfação que apresentamos este texto para que os autores possam apresentar os O ultrassom é um recurso físico amplamente utilizado na medicina, tanto para diagnóstico quanto para terapia. É definido como: vibração mecânica acústica de alta frequência, que produz efeitos fisiológicos térmicos e não térmicos. Sua ação benéfica tem sido demonstrada no tratamento de várias condições patológicas, com diferentes objetivos, tais como: promover a cicatrização de úlceras cutâneas, estimular a neovascularização em tecidos isquêmicos, promover a integração de enxertos de pele total, acelerar a consolidação de fraturas (Amâncio, 2003; Matheus, JPC, 2008; Borges FS, 2006; Dionísio, VC; Volpon, JB, 1999).

A frequência utilizada caracteriza-se pelo número de ciclos de ondas completados a cada segundo, sendo determinante para a profundidade de penetração no tecido (Prentice, WE, 2004; Guirro

ECO; Guirro RRJ, 2007; Menezes, DF et al., 1999). Há a possibilidade de utilizar diferentes frequências, 1 e 3 MHz, sendo que as frequências mais altas (3 MHz) são absorvidas mais intensamente, tornando-as mais específicas para o tratamento de tecidos superficiais, enquanto que as frequências mais baixas (1 MHz) penetram mais profundamente, utilizadas para o tratamento de tecidos profundos (Arnould-Taylor, W, 1999; Martines, M U et al, 2000; Menezes, DF et al, 1999).

A atenuação ultrassônica é um índice quantitativo associado à perda de energia de uma onda mecânica em relação a um meio de propagação a ser analisado. São utilizadas técnicas que avaliam a frequência e intensidade para obter a estimativa da atenuação (Olsson, DC et al, 2006; Ter Haar, G., 1999; Villamarin, MJA, 2010).

A produção de calor pelo aparelho desencadeia no organismo respostas significativas, sendo que esta ocorre com a utilização de intensidades entre 0,5

W/cm² e 1 W/cm² (Kitchen, S.; Bazin, S., 1996). Logo as vibrações provocadas pelo ultrassom terapêutico (UST) geram um gradiente de pressão negativo, promovendo o efeito de micromassagem, o que resulta em aumento do metabolismo celular, do fluxo sanguíneo, do suprimento de oxigênio, assim, age como um catalisador físico, facilitando as respostas celulares ao estímulo oferecido (Kornowski, R. et al., 1994; Kitchen, SS; Partridge, C.J., 1990; Machado, C.M., 1991)

A absorção de calor depende das condições dos tecidos tissulares, assim como do grau de vascularização e da frequência gerada pelo aparelho. Por exemplo, o tegumento com elevados conteúdos proteicos absorve mais rapidamente o aumento da temperatura, do que aqueles com elevado percentual de gordura (Kitchen, S.; Bazin, S., 1996; Partridge, C.J., 1990; Machado, C.M., 1991)

Para que seja possível a adequada avaliação dos equipamentos de UST, faz-se necessária a utilização de membranas e corpos de prova que mimetizem os tecidos humanos (Bianchetti, P., 2009). São utilizados modelos de biomembrana de pele de cobra, que simulam o estrato córneo e pele suína por apresentar semelhança morfológica à pele humana (Bettoni, C C., 2009).

Para simulação de tecidos moles, são utilizados corpos de prova confeccionados com policloreto de polivinila (PVC), glicerina, grafite, água, detergente e ágar-ágar em pó, denominadas phantom. Estes demonstraram propriedades termo acústicas semelhantes aos tecidos humanos (Basto RLQ, 2007).

O objetivo deste estudo foi verificar o percentual de atenuação da dose, verificar frequência emitida pelo transdutor ultrassônico e a temperatura atingida nas diferentes camadas da pele durante o procedimento.

2. Materiais e Métodos

Esta é uma pesquisa qualitativa e quantitativa, do tipo experimental, realizada no Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos (NEMP), do Centro Universitário Univates.

2.1. Ultrassom terapêutico

O estudo foi realizado com um UST modelo Avatar III (KLD), transdutor de 3 MHz, como parâmetros se utilizou: modo contínuo, com intensidade de 1 W/cm² e para meio de acoplamento foi utilizado hidrogel (Mercur S.A.).

2.2. Biomembrana e Corpo de Prova Phantom

Com a finalidade de simular o tegumento humano se utilizou uma biomembrana de suíno, adquiridas em um frigorífico. As peles foram dissecadas em tamanhos de 5 cm², sendo que na epiderme a espessura possuía 1,4 mm e na derme 2,5 mm;

medidas realizadas através de um paquímetro, sendo estas similares a espessura da pele humana (Oriá, S, Fernandes, F, 2003).

Para simular as características físicas dos tecidos moles adjacentes, foram confeccionados corpos de prova phantom, para tal utilizou-se: água destilada (86,5 %), glicerina (11 %), ágar-ágar em pó (2,5 %), policloreto de polivinila (PVC) ralado (5 g); pó de grafite (1,2 g), detergente e antiespumante (10 % do total da solução). Os ingredientes foram pesados em balança analítica de alta precisão (Splabor S.P) e colocados em um becker, a mistura foi aquecida em chapa aquecedora (Fisatom S.A) até atingir 70 °C, sendo mantida fechada para que não houvesse evaporação de água. Após o resfriamento (~50 °C), homogeneizou-se o conteúdo por 5 minutos, sendo então adicionados em recipientes com 3 centímetros de altura, esperando-se até a geleificação da amostra em temperatura ambiente para posterior uso (Basto RLQ, 2007).

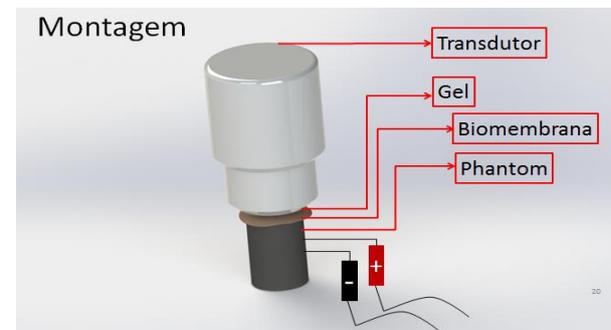


Figura: 1 Representação da montagem do sistema de avaliação *in vitro* de avaliação do UST. Fonte: Autor

O sistema foi montado conforme figura 1, o transdutor do US foi fixado por uma haste metálica. Foi utilizado como meio de acoplamento hidrogel sobre a pele suína e esta estava disposta sobre o phantom (Bettoni, C C, 2009; Basto RLQ, 2007; Oriá, S, Fernandes, F B, 2003; Ishikawa, NM; Alvarenga, AV; Paes, LFC; Pereira, WCA; Machado, JC, 2002). Os valores de frequência, intensidade e temperatura foram avaliados ao longo dos 5 minutos em cada interface tecidual: no gel (eletrodo em contato com a epiderme), na epiderme, derme e 10 mm e 18 mm abaixo da derme (medição no phantom).

2.3 Avaliação da Frequência e Intensidade da Onda Sonora

Para avaliação da frequência e intensidade da onda ultrassônica foram utilizados: osciloscópio (Tektronix 1002), multímetro (Minipa 2081) e eletrodos de fio de prata, posicionados nas diferentes interfaces teciduais, foi utilizado um multímetro para verificar o valor da resistência imposta pela interface analisada à onda sonora. Os eletrodos de fio de prata possuíam área de 1,19 cm².

Para determinar a intensidade em watts foi preciso calcular a corrente elétrica, sendo que ampere é

igual a volts dividido pela resistência em ohms, ($I=E/R$) e após identificar a potência em watts, multiplicando ampere pela resistência ($P= I \times E$). Obtendo o valor da potência dividiu-se pela área total do eletrodo, resultando em watts por cm^2 .

Avaliação da temperatura promovida pela onda sonora

A temperatura foi aferida com um multímetro (Minipa 2081), foi utilizado o mesmo modelo de montagem do sistema para esta avaliação.

2.4 Análise de Dados

As análises foram realizadas em triplicatas. Os dados foram tabulados em programa Microsoft Windows Excel 2003 e foi realizado cálculo da média e desvio-padrão das amostras.

3. Resultados

Foi avaliada a frequência da onda através do osciloscópio, na figura 2 pode-se verificar que a frequência de 3 MHz se manteve constante nas diferentes interfaces; gel (eletrodo em contato com a epiderme), epiderme, derme e phantom em 10 e 18 mm.

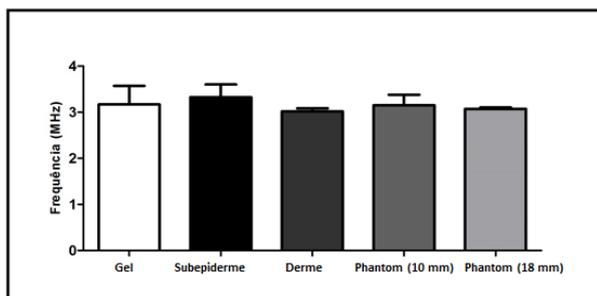


Figura 2: Frequência do ultrassom contínuo de baixa intensidade nas diferentes interfaces teciduais, gel, epiderme, derme, phantom em 10 mm e 18 mm. Dados expressos em média \pm EPM. N=3

Na avaliação da intensidade do feixe ultrassônico, ocorreu a redução desta, na medida em que a onda avança as diferentes interfaces teciduais. Foi verificada intensidade média de $1,01 W/cm^2$ no gel (eletrodo em contato com a epiderme), $0,91 W/cm^2$ na camada epidérmica, $0,75 W/cm^2$ na derme, $0,23 W/cm^2$ e, 10 mm no phantom e $0,08 W/cm^2$ em 18 mm no phantom.

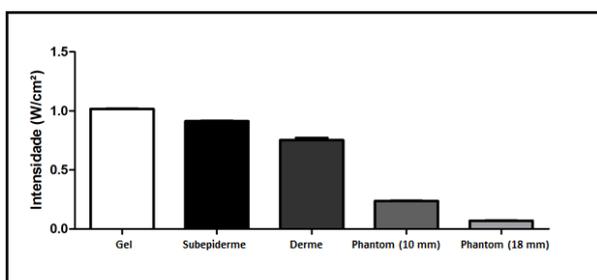


Figura.3: Intensidade do ultrassom contínuo de baixa intensidade nas diferentes interfaces teciduais, gel, epiderme, derme, phantom (10 mm) e phantom (18 mm). Dados expressos em média \pm EPM. N=3

Verificou-se que o ultrassom de baixa intensidade apresenta atenuação de cerca $0,10 W/cm^2$ na camada epidérmica, $0,26 W/cm^2$ na derme, $0,78 W/cm^2$ a 10 mm no phantom e $0,96 W/cm^2$ a 18 mm no phantom.

Na avaliação da temperatura observou-se que esta sofre alteração conforme a interface tecidual analisada. A figura 4 demonstra que o UST provoca um aquecimento médio de $12 ^\circ C$ no gel (eletrodo em contato com a epiderme), na epiderme de $10 ^\circ C$, na derme $24 ^\circ C$, de $17,6 ^\circ C$ no phantom a 10 mm e $2 ^\circ C$ no phantom a 18 mm no tempo de 5 minutos.

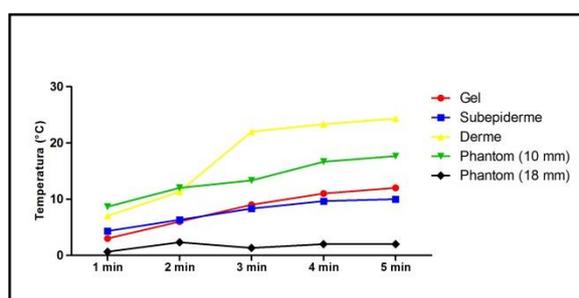


Figura 4: Temperatura promovida pelo ultrassom contínuo de baixa intensidade nas diferentes interfaces teciduais, sobre a epiderme, epiderme, derme, phantom (10 mm) e phantom, (18 mm) em função do tempo. Dados expressos em média \pm EPM. N=3]

4. Discussão

Os resultados obtidos demonstraram que a frequência de 3 MHz se manteve constante nas diferentes interfaces teciduais. Pois quanto maior a frequência da onda sonora, maior a capacidade de absorção e menor a profundidade de penetração (Valma JR AND Kerry GB, 2001). Ou seja, como a perda de energia aumenta com a elevação das frequências do ultrassom, as frequências mais baixas penetram mais nos tecidos (Capalonga, L; Bianchetti, P; Santos, LCM; Barnes, D; Stülp, S, 2011; Hayes, BT; Sandrey, MA; Merrick MA, 2001).

A profundidade de penetração sonora está diretamente relacionada com a frequência da onda, as de 3 MHz são utilizadas para atingirem profundidades inferiores a 2,5 cm, enquanto que ondas de 1 MHz são recomendadas para atingir profundidades superiores a 2,5 cm, podendo alcançar de 4 a 5 cm (Hayes, BT; Sandrey, MA; Merrick MA, 2001).

Ferrari e cols. (2008) encontraram variações maiores que 10% para a frequência de 1 MHz, sendo os limites de 0,92 e 1,22 MHz. Para equipamentos que operavam em 3 MHz todos se

apresentavam dentro dos limites permitidos, sendo o menor valor 2,92 e o maior 3,01 MHz. Os autores ainda sugerem que equipamentos com mais de 10 anos e transdutores mais modernos com duas frequências podem ter variação maior, comprometendo a exatidão da frequência desejada (Ferrari, CB, 2008).

O UST pode ser utilizado em duas intensidades; baixa (0,125 – 3 W/cm²) e alta (acima de 5 W/cm²) (Leung, MC, 2004; Associação Brasileira de normas técnicas, 1998). Para a determinação da intensidade terapêutica correta, a dose ideal deverá chegar até o tecido alvo, levando-se em consideração a atenuação das ondas sonoras nos tecidos superficiais até a área a ser tratada (Borges FS, 2006; Piercy, J. et al, 1994).

Os resultados da avaliação da intensidade do feixe ultrassônico elucidaram uma intensidade média de 1,01 W/cm² no gel (eletrodo em contato com a epiderme), 0,91 W/cm² na camada epidérmica, 0,75 W/cm² na derme, 0,23 W/cm² e, 10 mm no phantom e 0,08 W/cm² em 18 mm no phantom.

Grande parte da atenuação ultrassônica se deu na derme, fenômeno esse que esta possivelmente relacionado com a quantidade de proteínas e células densas contidas nesta interface tegumentar, que por si favorece a absorção de energia, reduzindo assim a incidência sonora nas estruturas adjacentes (Borges FS, 2006; Dionísio, VC; Volpon, JB, 1999; Oriá, S, Fernandes, F B, 2003)

É importante frisar que para ocorrer maior eficácia terapêutica é fundamental que a dose ideal chegue até o tecido alvo, avaliando-se a atenuação sofrida pela onda desde os tecidos mais superficiais até o local a ser tratado (Borges FS, 2006; Piercy, J. et al, 1994).

O ultrassom terapêutico produz efeitos térmicos, e este está relacionado com o atrito criado pelas ondas que passam através do tecido favorecendo a vibração celular e de suas partículas, o que produz assim o aumento da temperatura. A produção de calor pode ser maior nas áreas limítrofes, como por exemplo, músculo/osso, devido ao fato de ser uma área com menor capacidade de absorção e alto poder de refração da onda, este fato pode tornar a região altamente aquecida ao receber a onda sonora (Arnould-Taylor, W, 1999).

No presente estudo demonstrou-se que o UST provoca um aquecimento médio de 12 °C no gel (eletrodo em contato com a epiderme), na epiderme de 10 °C, na derme 24 °C, de 17,6 °C no phantom a 10 mm e 2 °C no phantom a 18 mm no tempo de 5 minutos. O aumento da temperatura induzida pelo UST depende de diversos fatores, como frequência, duração do pulso, intensidade e tempo de exposição, aliados às propriedades do tecido insonado (Dalecki, D. 2004).

O efeito térmico está associado a altas intensidades de onda e ao modo contínuo, além disso, a forma de aplicação (estacionária ou móvel), dimensões do corpo aquecido e a presença de superfícies refletoras na frente ou atrás do tecido de interesse, a dose de aplicação e as interfaces que separam os tecidos também interferem no efeito térmico (Piercy, J. et al, 1994; Dalecki, D, 2004).

De acordo com Maggi et al (2008), o UST altera a temperatura dos tecidos, os autores verificaram através de software específico que ocorre elevação do calor no tecido ósseo, até 43,25 °C quando aplicado a frequência de 1 MHz, com intensidade de 2 W/cm². Neste mesmo estudo foi avaliado o aquecimento ocasionado no tecido muscular e de gordura chegando a uma temperatura de 39 °C e 37 °C, respectivamente, sendo que para simulação do aquecimento na pele utilizaram a frequência de 3 MHz com a mesma dose, elevando a temperatura para 46 °C evidenciando resultados semelhantes aos encontrados em nosso estudo que foram em média de 44 °C (Maggi LE, Omena TP, von Krüger MA, Pereira WCA, 2008).

Para Sá e Cols. (2008), para se obter efeitos térmicos, o tecido deve ser aquecido entre 40 e 45 °C por cinco a 10 minutos. Temperaturas abaixo de 40 °C não resultam em efeitos térmicos (apenas atérmicos). Pensando nas células colagenosas existentes na derme um aquecimento de 3 a 4 °C mantidos por 5 minutos é suficiente para aumentar a extensibilidade do colágeno (Sá, JN, Burigo, WCA, Pereira, MAV, 2008).

O mesmo estudo utilizou um phantom constituído por PVC, grafite e ágar para avaliar o aquecimento dos tecidos subjacentes a pele. O protocolo utilizado foi: tempo de 5 min, intensidades de 1 e 2 W/cm², modo contínuo na frequência de 1 MHz. Observou-se aumento da temperatura que variou de 4 a 6 °C na intensidade de 1 W/cm², enquanto que em 2 W/cm² o aquecimento gerado chegou a uma variação de 7 a 11 °C, sendo que as avaliações foram realizadas a uma profundidade de 2 cm (Sá, JN, Burigo, WCA, Pereira, MAV, 2008).

Em estudo realizado com pele suína, comparou a aplicação estática do UST contínuo com frequência de 2 MHz e intensidade de 2 W/cm² e a aplicação em movimento circular em 3 cm/s, o que representa uma área com o dobro da área de radiação efetiva (ERA). Neste estudo obteve-se uma imagem térmica, a partir desta foi possível avaliar que na aplicação estática, ocorrem zonas de hiperaquecimento, tanto no tecidosubcutâneo, quanto no tecido osso, enquanto que na aplicação com movimento, a zona de hiperaquecimento se limitou a região subcutânea. Assim a movimentação do transdutor evita os picos de aquecimento causados pela geometria dos tecidos principalmente o osso (Demmink, JH; Helders, PJM, 2003).

5. Considerações Finais

Os resultados encontrados demonstram que a frequência de 3 MHz se manteve em todas as interfaces aplicadas, alcançando 18 mm de profundidade. Em relação à intensidade observamos uma redução na medida em que diferentes tecidos foram ultrapassados pela onda sonora, o percentual de emissão da onda reduziu a cada nível de tecido analisado. De fato a onda sonora sofre atenuação toda vez que passa por um tecido, quanto à temperatura, mensuramos um aumento com maior intensidade na região dérmica, possivelmente onde há maior concentração da onda sonora e menor dissipação, devido às características específicas do tegumento.

Estes dados podem oferecer ao terapeuta uma possibilidade de maior confiabilidade para que possa utilizar os parâmetros do equipamento de maneira correta, potencializando o efeito do mesmo e não ocasionando malefícios ao paciente por uma dose elevada, tão pouco por uma terapia ineficiente realizada com parâmetros baixos, com doses que não atingiriam o tecido alvo devido à atenuação sofrida pela onda.

Referências

- [1] Amâncio, AG Efeitos do ultrassom terapêutico na integração de enxertos da pele total em coelhos. 2003. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- [2] Arnould-Taylor, W. Princípios e prática de fisioterapia. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 1999.
- [3] Associação Brasileira de normas técnicas. Ultrassom: Sistemas de fisioterapia: prescrições para desempenho e métodos de medição na faixa de frequências de 0,5 MHz a 5 MHz, NBR IEC 1689. Rio de Janeiro; 1998.
- [4] Basto RLQ. Construção de um Phantom Sintético com propriedades Termofísicas e Ultrassônicas Similares às do Tecido Biológico Humano em 1,0 e 2,8 MHz. [Dissertação] Programas de pós-graduação de engenharia da universidade federal do rio de janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- [5] Bettoni, C C. Avaliação da penetração cutânea de nano cápsulas de isotretinoína por tape stripping in vitro em pele humana e suína – [Dissertação] Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas – Faculdade de Farmácia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [6] Bianchetti. P. Avaliação Das Variáveis Associadas Ao Uso De Fonoforese Na Veiculação Do Extrato Glicólico De Arnica Montana. Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora para obtenção do título de bacharel em fisioterapia. Centro Universitário UNIVATES, 2009.
- [7] Borges FS Dermatofuncional: modalidades terapêuticas nas disfunções estéticas, São Paulo: Phorte, 2006.
- [8] Capalonga, L; Bianchetti, P; Santos, LCM; Barnes, D; Stülp, S - Avaliação da transmissibilidade e frequência da onda sônica de equipamentos de ultrassom terapêutico, Ver Ciência em Movimento, Ano XIII, No 25, 2011.
- [9] Dalecki, D. Mechanical Bioeffects of ultrasound. Annual Reviews Biomedical Engineering. New York, 2004.
- [10] Demmink, JH; Helders, PJM. The Effect of Moving an Ultrasound Transducer on Tissue Heating” Advances in Physiotherapy, 2003.
- [11] Dionísio, VC; Volpon, JB. Ação do ultrassom terapêutico sobre a vascularização pós-lesão muscular experimental em coelhos. Revista Brasileira de Fisioterapia, 1999.
- [12] Ferrari, CB. Avaliação do desempenho de equipamentos de ultrassom terapêutico – Dissertação de Mestrado do programa de pós-graduação em Fisioterapia, Universidade Metodista de Piracicaba, 2008.
- [13] Guirro ECO; Guirro RRJ. Fisioterapia Dermatofuncional: fundamentos, recursos, patologias. 3. Ed. Barueri: Manole, 2007.
- [14] Hayes, BT; Sandrey, MA; Merrick MA. The Differences Between 1MHZ and 3 MHZ Ultrasound in the Heating of Subcutaneous Tissue. Athletic Training, Indiana, 2001.
- [15] Ishikawa, NM; Alvarenga, AV; Paes, LFC; Pereira, WCA; Machado, JC. Análise do desempenho de equipamentos de ultrassom para fisioterapia, operando na cidade do Rio de Janeiro, conforme a norma NBR/IEC 1689 da ABNT. Rev. bras. fisioterapia, 2002.
- [16] Kitchen, S.; Bazin, S. Eletroterapia de Clayton. 10. ed. São Paulo: Manole, 1996.
- [17] Kitchen, SS; Partridge, CJ. A review of therapeutic ultrasound: I. Background, physiological effects and hazards. Physiotherapy, 1990.

- [18] Kornowski, R. et al. Does external ultrasound accelerate thrombolysis? Results from a rabbit model. *Circulation*, 1994.
- [19] Leung, MC; Yip KK. Effect of ultrasound on acute inflammation of transected medial collateral ligaments. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2004.
- [20] Machado, CM. Ultrassom. In: *Eletroterapia prática*. 2. ed. São Paulo: Pancast, 1991.
- [21] Maggi LE, Omena TP, von Krüger MA, Pereira WCA. Didactic software for modeling heating patterns in tissues irradiated by therapeutic ultrasound. *Rev. bras. fisioter.* 2008.
- [22] Martines, M U et al. O efeito do ultrassom em reações químicas. *Química Nova*, 2000.
- [23] Matheus, JPC; Oliveira, FB; Gomide, LB; Milani, JGPO; Volpon, JB; Shimano, AC - Efeitos do ultrassom terapêutico nas propriedades mecânicas do músculo esquelético após contusão - *Rev. Bras. Fisioter.* São Carlos, 2008.
- [24] Menezes, DF et al. Aplicação de ultrassom terapêutico em lesão experimental aguda. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 1999.
- [25] Olsson, DC et al. Pulsed and continuous ultrasound stimulation in rats healing celiotomy. *Ciência Rural*, 2006.
- [26] Oriá, S, Fernandes, F B - Estudo das alterações relacionadas com a idade na pele humana, utilizando métodos de histo-morfometria e autofluorescência. *An. bras. Dermatol.* Rio de Janeiro, 78(4): 425-434 jul./ago. 2003.
- [27] Piercy, J. et al. Habilidades da fisioterapia: ultrassom. In: *Fisioterapia de Tidy*. 12. ed. São Paulo: Santos Livraria, 1994
- [28] Prentice, WE. *Modalidades Terapêuticas para Fisioterapeutas*. 2. Ed, Porto Alegre: Artmed, 2004.
- [29] Sá, J.N; Burigo, WCA; Pereira, MAV. Estudo Do Padrão De Aquecimento Gerado Por Ultrassom Fisioterapêutico Em Phantom Ultrassônico Com Matriz De Termopares. Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ, 21º Congresso de Engenharia Biomédica, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- [30] Ter Haar, G. *Therapeutic ultrasound*. European Journal Ultrasound, Shannon, 1999.
- [31] Villamarin, MJA; Mosquera SJA - Estimativa da atenuação ultrassônica em estruturas biológicas mediante a aplicação do filtro de wiener, 9th Brazilian Conference on Dynamics Control and their Applications Serra Negra, SP - ISSN 2178-3667.
- [32] Valma JR AND Kerry GB. *PHYS THER. A Review of Therapeutic Ultrasound: Effectiveness*, 2001

Avaliação do Desempenho Acústico de Edificações Habitacionais em Fortaleza e Análise do PEBD em Sistemas de Contrapiso Flutuante

PINHEIRO, G.M.¹

¹ Grupo de Compartilhamento de Conhecimentos em Acústica, Laboratório de Vibrações, GCCA/UFC, Fortaleza, CE, gleiidsonmartins@hotmail.com.

Resumo

Considerando a entrada em vigor da norma “NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho”, que define valores mínimos obrigatórios de níveis de desempenho acústico dos edifícios residenciais, esta pesquisa objetiva a verificação do comportamento acústico dos sistemas utilizados em duas edificações de Fortaleza, mensurados através do método de engenharia indicado na norma em questão e comparados com os níveis exigidos. O estudo aprofunda-se com uma análise da contribuição da solução de contrapiso flutuante no isolamento ao ruído de impacto de pisos (causa de reclamação de usuários de habitações verticais) através do cálculo de previsão da redução de nível de pressão sonora de impacto padrão ($\Delta L_{w,T}$) realizado a partir do conhecimento da rigidez dinâmica e da espessura do material resiliente utilizado. É apresentado um estudo de caso da aplicação da manta acústica em uma obra de Fortaleza, ressaltando os cuidados de execução necessários para atingir o desempenho desejável. Verificou-se que os sistemas construtivos críticos quanto à conformidade com os valores normatizados são as vedações verticais internas constituídas de alvenaria de gesso com 7cm de espessura e as vedações verticais externas contendo esquadrias de alumínio com vidro de 4mm de espessura. Quanto ao desempenho de ruído de impacto, a utilização de manta de polietileno expandido de baixa densidade (PEBD) nas espessuras de 5mm e de 10mm em sistemas de contrapiso flutuante, considerando as condições de contorno dos sistemas ensaiados, pode proporcionar valores de “ $\Delta L_{w,T}$ ” de aproximadamente 24 dB e 28 dB, respectivamente. No acompanhamento da aplicação da manta acústica realizada no estudo de caso, verificaram-se erros de execução que podem prejudicar o desempenho desta solução. Concluiu-se que os sistemas construtivos adotados nos edifícios estudados devem ser revistos pelos projetistas e que a solução de contrapiso flutuante, utilizando manta de PEBD, possui potencial para proporcionar conforto acústico aos sistemas de piso, desde que executada corretamente.

Palavras-chave: Conforto Acústico. Norma de Desempenho. Edifícios Habitacionais. ContrapisoFlutuante.

1. Introdução

Devido à considerável variedade de malefícios à saúde humana causados pelo ruidoso ambiente urbano, a poluição sonora é considerada como um problema de saúde pública, exigindo medidas e estratégias que, em conjunto, possam mitigar seus danos sobre a população e proporcionar um ambiente ecologicamente equilibrado. Por esta razão, em vários países foram elaboradas leis, diretivas e normas a fim de regulamentar os níveis de energia acústica emitida pelas diversas fontes de ruído e de estabelecer políticas de controle da poluição sonora. Uma das ações estratégicas adotadas é o condicionamento acústico das edificações habitacionais. Em 2013, a população brasileira testemunhou um marco nacional na história do desempenho dos edifícios residenciais. Foi neste ano que a Norma ‘NBR 15575:2013

– Edificações Habitacionais – Desempenho’ (popularmente conhecida como norma de desempenho) entrou em vigor. Dentre as atribuições que a norma contempla, os limites do desempenho acústico de componentes e sistemas das edificações foram quantificados e qualificados, sendo estabelecidos os valores mínimos obrigatórios.

Como qualquer inovação tecnológica, as soluções acústicas a serem utilizadas nos edifícios residenciais são muitas vezes desconhecidas pelos profissionais da construção civil. Os construtores devem conhecer o potencial e o procedimento correto para a aplicação das soluções, os projetistas precisam conhecer os parâmetros físicos relevantes de cada material e o procedimento de cálculo para elaboração dos projetos acústicos, os fabricantes devem caracterizar seus produtos segundo estes

parâmetros, os laboratórios precisam possuir infraestrutura para realizar os ensaios e os usuários finais devem conhecer a importância da qualidade sonora para a saúde e os seus direitos, exigindo a conformidade com a norma, gerando assim valor à acústica em geral.

A análise do comportamento sonoro de sistemas construtivos adotados em dois edifícios habitacionais de Fortaleza e o estudo sobre o potencial e o procedimento de execução da solução de contrapiso flutuante, através de resultados de campo, cálculos acústicos normatizados e visitas técnicas constituem os objetivos deste trabalho.

2. Materiais e Métodos

As atividades desenvolvidas nesta pesquisa são divididas em três etapas. Inicialmente, foi realizado um diagnóstico das condições acústicas gerais de dois edifícios habitacionais em Fortaleza, através de medições em campo seguindo o método de engenharia indicado na NBR 15575:2013. Em seguida, foi feita uma análise da capacidade de amortecimento do ruído de impacto em sistemas de contrapiso flutuante, através do cálculo de previsão da redução sonora dos ruídos estruturais descrito na norma EN 12354-2:2000, utilizando o parâmetro "Rigidez Dinâmica" como dado de entrada, e ponderando os valores obtidos em um único termo através do procedimento descrito na norma ISO 717-2:2013. Por fim, foi realizado um acompanhamento da execução do contrapiso flutuante em uma obra, a fim de verificar as principais dificuldades de aplicação e um levantamento das transgressões em relação ao procedimento construtivo indicado pelo fornecedor da manta acústica.

2.1. Diagnóstico do Comportamento Acústico – Metodologia de Ensaio

O Método de Engenharia descrito na norma de desempenho e adotado neste trabalho consiste na realização de ensaios acústicos em campo para a determinação da Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w}$), no caso da transmissão aérea das vedações internas; da Diferença Padronizada de Nível Ponderado a 2 Metros de Distância

($D_{2m,nT,w}$) no caso da transmissão aérea das vedações externas e do Nível de Pressão Sonora por Impacto Ponderado ($L'_{nT,w}$) no caso da transmissão por impacto das vedações horizontais. A descrição do procedimento experimental e o método de ponderação destes parâmetros são descritos respectivamente nas normas ISO 140 e ISO 717.

Segundo a norma ISO 140-4:1998, o método de avaliação do isolamento ao ruído aéreo entre

recintos consiste em gerar um campo sonoro de ruído branco ou rosa através de uma fonte omnidirecional em um dos recintos, realizando então medições dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência de terço de oitava em várias posições, tanto no recinto emissor quanto no receptor, com um sonômetro-analisador. Para realizar correções dos valores medidos, levando em consideração a absorção sonora do ambiente receptor, também deve ser mensurado o tempo de reverberação do mesmo. Em seguida, é calculada a curva de isolamento acústico ao ruído aéreo entre os dois ambientes em bandas de frequência, curva está que, através do processo descrito pela norma ISO 717-1:2013, é resumida no valor global característico denominado Diferença Padronizada de Nível Ponderado " $D_{nT,w}$ ", parâmetro dado em decibéis adotado pela NBR 15575:2013 para definição de desempenho acústico.

O método de avaliação do isolamento ao ruído aéreo de fachadas, de acordo com a norma ISO 140-5:1998, consiste em gerar um campo sonoro de ruído branco ou rosa através de uma fonte diretiva no ambiente externo e medir os níveis de pressão sonora em bandas de frequência de terços de oitava com um sonômetro analisador em várias posições, tanto na frente da fachada quanto no ambiente interno. Para as devidas correções, deve ser mensurado o tempo de reverberação do interior do recinto receptor. Em seguida, é calculada a curva de isolamento acústico ao ruído aéreo em bandas de frequência que, após o procedimento descrito na norma ISO 717-1:2013, é resumida no valor global característico denominado Diferença Padronizada de Nível Ponderado a 2 metros de distância da fachada " $D_{2m,nT,w}$ ", parâmetro dado em decibéis e adotado pela norma de desempenho.

Finalmente, o procedimento de ensaio do desempenho acústico ao ruído de impacto em sistemas de pisos, segundo a norma ISO 1407:1998, consiste na geração de ruído causado por uma máquina de impacto padronizada posicionada no recinto superior e na medição dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência de terço de oitava por um sonômetro analisador em várias posições no recinto inferior. Para as devidas correções, deve ser mensurado o tempo de reverberação do interior do ambiente receptor. Em seguida, é calculada a curva de nível de pressão sonora de ruído de impacto em bandas de frequência, curva está que, através do processo descrito pela norma ISO 717-2:2013, é resumida no valor global característico denominado Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado " $L'_{nT,w}$ ", parâmetro dado em também em decibéis.

Os equipamentos utilizados na realização dos ensaios acústicos divulgados neste trabalho são apresentados na seguinte tabela:

Tabela 1: Equipamentos utilizados nas medições em campo

MARCA	EQUIPAMENTO	Nº DA SÉRIE
Brüel & Kjaer	Fonte Sonora Multidirecional Dodecaédrica	033008
Brüel & Kjaer	Calibrador de Microfones	3010153
Brüel & Kjaer	Microfones Pré-polarizados	2907442
Brüel & Kjaer	Analizador Portátil	3006667
Brüel & Kjaer	Amplificador de Potência	041009
Brüel & Kjaer	Tapping Machine	2783700

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2. Capacidade de Amortecimento de Impacto em Sistemas de Contrapiso Flutuante

Uma solução utilizada para atenuar o ruído estrutural causado por impacto é o sistema de contrapiso flutuante, que consiste em isolar qualquer contanto entre a camada de contrapiso e as vedações horizontal (laje estrutural) e vertical (paredes), através da colocação de uma manta contínua resiliente, ou seja, com capacidade de amortecimento, impedindo assim que as vibrações se propaguem do recinto causador do ruído para os demais sistemas do edifício.

O material resiliente estudado nesta pesquisa é o Polietileno Expandido de Baixa Densidade (PEBD), um polímero da classe dos termoplásticos que possui células fechadas, ou seja, é resistente ao fluxo do ar interno quando submetido à compressão. O material é fabricado pela empresa Joongbo Química do Brasil LTDA, que disponibilizou as amostras e os laudos referentes aos ensaios de caracterização.

A capacidade de atenuação do ruído estrutural do sistema de contrapiso flutuante pode ser relacionada com uma propriedade física do isolante acústico denominada Rigidez Dinâmica por unidade de área, grandeza diretamente proporcional ao módulo de elasticidade do material e inversamente

proporcional à sua espessura, como mostra a seguinte equação:

$$s' = E/d \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde s' é a rigidez dinâmica aparente [MN/m^3], E é o módulo de elasticidade [N/m^2] e d é a espessura da manta [m].

A rigidez dinâmica de um dado material é determinada através do ensaio descrito na norma ISO 9052-1:1989. A caracterização da manta acústica quanto a este parâmetro possibilita o cálculo da frequência de ressonância de cada caso de contrapiso flutuante analisado, em função do carregamento ocasionado pelo contrapiso de argamassa e pelo piso utilizado. A frequência fundamental de ressonância de um sistema qualquer é dada por:

$$f_r \approx 160 \sqrt{\frac{s'_t}{m_t}} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde s' é a rigidez dinâmica aparente [MN/m^3], m_t é a massa total por unidade de área [Kg/m^2] e r é a frequência fundamental de ressonância do sistema [Hz].

A partir do resultado da frequência de ressonância do sistema, é possível prever a redução do nível de pressão sonora de impacto padrão do sistema de contrapiso flutuante através do cálculo descrito no Anexo C da norma internacional EN 123542:2000, que utiliza a seguinte relação:

$$\Delta L = 30 \log \frac{f}{f_0} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde ΔL é a redução do nível de pressão sonora de impacto padrão [dB], f = frequência central da banda de 1/3 de oitava [Hz], f_0 = frequência de ressonância do sistema calculada a partir da rigidez dinâmica aparente [Hz].

Calculada a redução do nível de pressão para cada frequência central de banda de 1/3 de oitava, é possível calcular a diferença de pressão sonora de impacto padrão ponderada do sistema de contrapiso flutuante através do procedimento descrito no Anexo C na norma internacional ISO 717-2:2013.

2.3. Procedimento de Aplicação da Manta Acústica Para Piso

Para alcançar o desempenho acústico desejado em uma edificação, o projeto acústico e a especificação dos materiais a serem utilizados devem ser acompanhados por uma correta aplicação. No caso de mantas acústicas resilientes utilizadas para isolar a laje estrutural e as paredes de vedação do contrapiso, o mínimo contato que permita a propagação da vibração ocasionada por percussão no piso pode comprometer todo o investimento realizado.

A fim de verificar se o procedimento de execução do contrapiso flutuante informado previamente pelo fornecedor é devidamente observado pelos construtores, foi realizado um acompanhamento de sua aplicação em uma obra de edificação habitacional de múltiplos andares em Fortaleza. Um relatório técnico contendo o levantamento das incoerências observadas e a importância de alguns procedimentos executivos foi elaborado e disponibilizado à construtora.

3. Resultados e Discussões

Nesta pesquisa, são apresentados três resultados: o diagnóstico do desempenho acústico de dois edifícios habitacionais em Fortaleza, a análise da contribuição do contrapiso flutuante com manta de PEBD quanto ao amortecimento do ruído de impacto e a avaliação do procedimento de instalação desta solução.

3.1. Desempenho acústico dos edifícios segundo a NBR 15575:2013

Os ensaios apresentados nesta pesquisa foram realizados juntamente com o SENAI/CE, que investiu nos equipamentos necessários para a análise do desempenho acústico dos edifícios habitacionais segundo o método de engenharia indicado na norma NBR

Tabela 2:

Ambientes Ensaçados no Edifício A.

Tipo de Ensaio	Ambiente de Emissão	Ambiente de Recepção	Número do Ensaio
Ruído Aéreo Interno	Estar / Jantar (Apto 1)	Estar / Jantar (Apto 2)	1
Ruído Aéreo Interno	Cozinha	Circulação	2
Ruído Aéreo entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	3
Ruído de Impacto entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	4
Ruído Aéreo Externo à Fachada	Meio Externo	Suíte Casal	5

Fonte: elaborada pelos autores

15575:2013. Foram estudados dois edifícios, dos quais os nomes não foram divulgados em respeito ao termo de confidencialidade do órgão junto às

construtoras. Por esta razão, os edifícios foram denominados de Edifício A e Edifício B, respectivamente representados nas tabelas 2 e 3 a seguir.

Os resultados obtidos nos ensaios são descritos nas tabelas 4 e 5 a seguir, referentes aos edifícios A e B respectivamente, onde também são informados os valores mínimos exigidos pela norma para cada tipo de isolamento, a parte da norma utilizada e os níveis de desempenho acústico alcançados.

Tabela 3: Ambientes Ensaçados no Edifício B.

Tipo de Ensaio	Ambiente de Emissão	Ambiente de Recepção	Número do Ensaio
Ruído Aéreo Interno	Suíte Casal (Apto 1)	Suíte Casal (Apto 2)	6
	Cozinha	Circulação	7
Ruído Aéreo entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	8
Ruído de Impacto entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	9

Fonte: elaborada pelos autores

Tabela 4: Resultados dos Ensaios do Edifício A

NBR 15.575	Nº do Ensaio	Resultado do Ensaio	Valor mínimo NBR 15.575	Nível NBR 15.575
Parte 4	1	Dnt,w = 41 dB	≥ 40dB	OKMínimo
Parte 4	2	Dnt,w = 27 dB	≥ 30dB	Não Atende
Parte 3	3	Dnt,w = 52 dB	≥ 45dB	OK Intermediário
	4	L'nT,w = 76dB	≤ 80dB	SIMMínimo
Parte 4	5	D2m,n T,w = 20 dB	≥ 25dB	Não Atende

Fonte: Ensaios realizados junto ao SENAI/CE.

Tabela 5: Resultados dos Ensaios do Edifício B.

NBR 15.575	Nº do Ensaio	Resultado do do Ensaio	Valor mínimo NBR 15.575	Nível NBR 15.575
Parte 4	6	Dnt,w = 45 dB	≥ 45 dB	OK Mínimo
Parte 4	7	Dnt,w = 20 dB	≥ 30 dB	Não Atende
Parte 3	8	Dnt,w = 57 dB	≥ 45 dB	OK Superior
	9	L'nT,w = 68 dB	≤ 80 dB	OK Mínimo

Fonte: Ensaios realizados junto ao SENAI/CE.

As características dos sistemas ensaiados estão representadas na tabela que segue:

Dos nove ensaios realizados nos dois Edifícios estudados, foram analisadas seis situações diferentes:

- Ruído Aéreo Interno, no caso de parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório (ensaio 1). Neste caso, o valor apresentado pelo sistema está apenas 1dB acima no mínimo obrigatório. Nesta situação, verificase que alvenarias de gesso com 7cm de espessura não garantem confiabilidade para o atendimento à norma de desempenho;
- Ruído Aéreo Interno, no caso de parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos (ensaios 2 e 7). Nesta configuração, nenhum dos dois sistemas ensaiados atendeu ao desempenho mínimo obrigatório. Novamente foram utilizadas alvenarias de gesso para separação dos ambientes, confirmando que esta solução de vedação é insatisfatória para os requisitos de isolamento acústico;
- Ruído Aéreo Interno, no caso de parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), onde pelo menos um dos ambientes seja dormitório (ensaio 6). Nesta situação, o resultado da aferição coincidiu com o valor mínimo estabelecido na norma. Verifica-se novamente a inconfiabilidade de alvenaria de blocos de gesso;
- Ruído Aéreo entre Pisos, no caso de sistema de piso separando unidades habitacionais de áreas em que um dos recintos seja dormitório (ensaios 3 e 8). Esta foi a única situação onde os valores encontrados atingiram níveis de desempenho acústico melhores que o mínimo normatizado,

alcançando níveis intermediário e superior respectivamente

Tabela 6: Características dos sistemas de separação ensaiados.

Ensaio	Características
1	Alvenaria de gesso com espessura de 7 cm. Ambiente com uma área de 16,05 m ² e um volume de 41,37 m ³ , mesmas configurações do ambiente de recepção.
2	Alvenaria de bloco de gesso com espessura de 7 cm. Ambiente de emissão com área de 5,27 m ² e volume de 13,70 m ³ . Já o ambiente de recepção possui área total de 5,40 m ² e volume de 14,04 m ³
3	Laje concreto nervurada com espessura de 25 cm, sendo a mesa com 6 cm. Contrapiso de 5cm em argamassa cimentícia. Porcelanato polido com argamassa colante de 1cm, rejuntado. Ambiente de emissão conta com área de 11,48 m ² e um volume de 29,84 m ³ , idêntico ao ambiente de recepção.
4	Mesmas configurações do ensaio 3.
5	Alvenaria de bloco cerâmico com espessura de 10 cm + 2,5 cm de reboco de argamassa cimentícia (o outro lado é porcelanato não aderido), portas internas e externas com estrutura em sarrafos com capa em chapa dura (3 mm), com espessura de 35mm. Janelas com estrutura em alumínio e vidro comum de 4 mm. O ambiente de emissão é a área externa ao edifício, com o autofalante localizado a dois metros de distância da fachada. Já o ambiente de recepção possui área de 11,48 m ² e volume de 29,84 m ³
6	Alvenaria de bloco de gesso (espessura não informada). Ambiente de emissão conta com uma área de 11,38 m ² e um volume de 29,60 m ³ , mesmas dimensões do ambiente de recepção.
7	Paredes internas de bloco de gesso (espessura não informada). Ambiente de emissão com área de 8,38 m ² e volume de 21,78 m ³ . Ambiente de recepção possui área total de 6,82 m ² e volume de 17,73.
8	Laje concreto nervurada (6cm de mesa), contrapiso em argamassa cimentícia com espessura de 5cm, piso cimentado de 2 cm de espessura e porcelanato de 60x60 cm. Ambiente de emissão com área de 11,38 m ² e volume de 29,60 m ³ , idêntico ao ambiente de recepção.
9	Mesmas configurações do ensaio 8.

Fonte: elaborada pelos autores.;

- Ruído de Impacto entre Pisos, no caso de sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos (ensaio 4 e 9). Os resultados obtidos nesta situação atingiram o nível mínimo necessário para atendimento da norma. No entanto, quando comparada com normas estrangeiras, percebe-se que a exigência da norma brasileira quanto a esta situação é desfavorável ao conforto acústico;
- Ruído Aéreo Externo à Fachada, no caso de Classe II de Ruído (ensaio 5); O resultado obtido nesta situação não atende à norma de desempenho. A ineficiência acústica deste sistema ocorre principalmente devido às esquadrias de alumínio com vidro de 4 mm.

3.2 Influência de Sistemas de Contrapiso Flutuantes Sobre o Desempenho Acústico ao Ruído de Impacto – Análise da Rigidez Dinâmica da Manta Resiliente

Foram analisadas duas amostras de manta acústica de PEBD, a primeira amostra com espessura de 5 mm e a segunda de 10 mm, caracterizadas pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons), localizado na cidade de Coimbra, em Portugal. Seguem abaixo os resultados de rigidez dinâmica aparente e da frequência de ressonância verificados:

Quadro 1: Resultados de rigidez dinâmica aparente e frequência de ressonância da Amostra 1

Resultados Obtidos	
Nº de provetes ensaiados	3
Comprimento (mm)	200.1
Espessura Inicial (mm)	4.9
d - espessura no final do ensaio(mm)	4.8
m't - massa por unidade de área(Kg/m ²)	206.2
Fr - frequência de ressonância (Hz)	79.2
S't - rigidez dinâmica aparente(MN/m ³)	51

Fonte: Laudo elaborado pelo IteCons.

Estes resultados podem ser utilizados para verificar a previsão do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado ($L'_{nT,w}$) de um sistema com contrapiso flutuante. A equação 3 apresentada na metodologia deste trabalho possibilita o cálculo da redução do nível de pressão sonora de impacto padrão em função da frequência central de bandas de 1/3 de oitava. O desempenho de sistemas de contrapiso flutuante utilizando as mantas acústicas de 5 e de 10 milímetros de espessura pode ser calculado utilizando como base de entrada o valor do ΔL ponderado.

Quadro 2: Resultados de rigidez dinâmica aparente e frequência de ressonância da Amostra 2

Resultados Obtidos	
Nº de provetes ensaiados	3
Comprimento (mm)	199.7
Espessura Inicial (mm)	10.4
d - espessura no final do ensaio(mm)	10.4
m't - massa por unidade de área(Kg/m ²)	204.2
Fr - frequência de ressonância (Hz)	58.1
S't - rigidez dinâmica aparente(MN/m ³)	27

Fonte: Laudo elaborado pelo IteCons.

De acordo com a norma NBR 6120, o peso específico do contrapiso é de 21 kN/m³. Considerando a espessura de 5 cm, utilizada tanto no Ensaio 4 do Edifício A quanto no Ensaio 9 do Edifício B, tem-se uma massa por unidade de área de 105,00 kg/m². Acrescentando a contribuição do peso do piso de porcelanato polido (22,00 kg/m²), também presente nos dois casos, a massa por unidade de área final do carregamento do modelo massa-mola que representa o sistema de contrapiso flutuante é de 127 kg/m². As seguintes tabelas ilustram os resultados da redução do nível de pressão sonora de impacto padrão em função das frequências centrais de banda de 1/3 de oitava para os isolantes acústicos de 5mm e 10mm de espessura, calculadas a partir das equações 2 e 3 apresentadas na metodologia desta pesquisa.

Tabela 7: Diferença dos níveis de pressão sonora de impacto padrão em função das faixas centrais de frequência de banda de 1/3 de oitava da manta de 5mm

f1 (Hz)	ΔL (dB)
100	-0.18
125	2.73
160	5.94
200	8.85
250	11.76
315	14.77
400	17.88
500	20.79
630	23.80
800	26.91
1000	29.82
1250	32.73
1600	35.94
2000	38.85
2500	41.76
3150	44.77
Rigidez Dinâmica da Manta de 5mm	51.00 MN/m ³
Massa por área do contrapiso (5mm) + porcelato	127.00 kg/m ²
Equação (2)	$f_r = 160 \sqrt{\frac{s't}{m't}}$
Frequência Natural de Ressonância	101.39 Hz
Equação (3)	$\Delta L = 30 \log \frac{f1}{f_r}$

Fonte: elaborada pelos autores

Tabela 8: Diferença dos níveis de pressão sonora de impacto padrão em função das faixas centrais de frequência de banda de 1/3 de oitava da manta de 10mm

f1 (Hz)	ΔL (dB)
100	3.96
125	6.87
160	10.09
200	12.99
250	15.90
315	18.91
400	22.02
500	24.93
630	27.94
800	31.06
1000	33.96
1250	36.87
1600	40.09
2000	42.99
2500	45.90
3150	48.91
Rigidez Dinâmica da Manta de 10mm	27.00 MN/m ³
Massa por área do contrapiso (5mm) + porcelato	127.00 kg/m ²
Equação (2)	$f_r = 160 \sqrt{\frac{s't}{m't}}$
Frequência Natural de Ressonância	101.39 Hz
Equação (3)	$\Delta L = 30 \log \frac{f1}{f_r}$

Fonte: elaborada pelos autores

A partir dos valores de redução de nível de pressão sonora de impacto calculados para cada frequência de referência, adota-se o procedimento de ponderação do anexo C na ISO 717-2 para calcular o valor de redução global. As tabelas 9 e 10 ilustram o procedimento descrito norma. Os significados de cada coluna dessas tabelas, bem como a metodologia de cálculo, estão descritos abaixo:

Coluna (1): Frequências centrais de banda de 1/3 de oitava;

- Coluna (2): Resultados da diferença nível de pressão sonora de impacto padrão apresentados nas Tabelas 7 e 8;
- Coluna (3): Valores de piso de referência informados na ISO 717-2;
- Coluna (4): Diferença entre os valores das colunas 3 e 2;
- Coluna (5): Valores de referência de nível de impacto padrão informados na ISO 717-2;
- Coluna (6): Valor inteiro a ser somado com a coluna 5 necessário para satisfazer a seguinte condição: somatório dos valores da coluna 7 ser o maior valor possível menor que 32,00;
- Coluna (7): Valores positivos para a diferença entre a coluna 4 com a soma das colunas 5 e 6;
- Coluna (8): Somatório das colunas 5 e 6;

Manta Acústica de 5mm							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
100	-0.18	67	67.18	62	-6	11.18	56
125	2.73	67.5	64.77	62	-6	8.77	56
160	5.94	68	62.06	62	-6	6.06	56
200	8.85	68.5	59.65	62	-6	3.65	56
250	11.76	69	57.24	62	-6	1.24	56
315	14.77	69.5	54.73	62	-6	0	56
400	17.88	70	52.12	61	-6	0	55
500	20.79	70.5	49.71	60	-6	0	54
630	23.80	71	47.20	59	-6	0	53
800	26.91	71.5	44.59	58	-6	0	52
1000	29.82	72	42.18	57	-6	0	51
1250	32.73	72	39.27	54	-6	0	48
1600	35.94	72	36.06	51	-6	0	45
2000	38.85	72	33.15	48	-6	0	42
2500	41.76	72	30.24	45	-6	0	39
3150	44.77	72	27.23	42	-6	0	36

Soma (Col.8):	30.9	<	32,0
$\Delta Lw = 78 - 54$			24

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 9: Procedimento de cálculo da previsão do ΔLw para contrapiso flutuante com manta acústica de 5mm de espessura segundo a norma ISO 717-2

De acordo com a ISO 717-2, ΔLw : é a diferença entre o valor fixo de 78 dB com o nível de pressão sonora de impacto padrão calculado na coluna 8 referente à frequência central de 500Hz.

Manta Acústica de 10mm							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
100	3.96	67	63.04	62	-10	11.04	52
125	6.87	67.5	60.63	62	-10	8.63	52
160	10.09	68	57.91	62	-10	5.91	52
200	12.99	68.5	55.51	62	-10	3.51	52
250	15.90	69	53.10	62	-10	1.10	52
315	18.91	69.5	50.59	62	-10	0	52
400	22.02	70	47.98	61	-10	0	51
500	24.93	70.5	45.57	60	-10	0	50
630	27.94	71	43.06	59	-10	0	49
800	31.06	71.5	40.44	58	-10	0	48
1000	33.96	72	38.04	57	-10	0	47
1250	36.87	72	35.13	54	-10	0	44
1600	40.09	72	31.91	51	-10	0	41
2000	42.99	72	29.01	48	-10	0	38
2500	45.90	72	26.10	45	-10	0	35
3150	48.91	72	23.09	42	-10	0	32

Soma (Col.8):	30.19	<	32,0
$\Delta Lw = 78 - 50$			28

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 10: Procedimento de cálculo da previsão do ΔLw para contrapiso flutuante com manta acústica de 10mm de espessura segundo a norma ISO 717-2

Desta forma, as mantas acústicas de PEBD de 5 mm e 10 mm de espessura possuem um potencial para, teoricamente, atenuar o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado de 24 dB e 28 dB, respectivamente, desde que aplicados corretamente, seguindo os procedimentos de instalação do fabricante.

3.3 Acompanhamento da execução dos sistemas de contrapiso flutuantes

Para alcançar o desempenho acústico previsto no cálculo desenvolvido na seção anterior, é imprescindível seguir corretamente as etapas de execução indicadas pela literatura ou pelos fabricantes de mantas acústicas. O procedimento de execução informado pela empresa fabricante de mantas acústicas de PEBD, Joongbo Química do Brasil LTDA, encontra-se disponível no site da empresa.

Foi realizado um acompanhamento na obra Azaleia, localizada na rua Rocha Lima, nº 998, da construtora Unicasa, no dia 11 de fevereiro de 2015. A análise da aplicação da manta resultou em um relatório técnico que objetivou analisar as condições verificadas na execução do contrapiso flutuante, informar a importância de algumas etapas de execução e apresentar as transgressões testemunhadas no local. O relatório desenvolvido foi fornecido para o engenheiro da obra.

A função da manta resiliente é amortecer a vibração causada por impacto no piso e impedir que a mesma seja transmitida por contato para a laje, para a parede ou para o contrapiso de áreas impermeabilizadas, garantindo assim que o sistema de contrapiso flutuante tenha desempenho satisfatório.

Na data da visita em questão, estava sendo executado o contrapiso flutuante de unidades do andar acima do "Pilotis". Alguns cuidados, como a virada de rodapé, não foram respeitados na unidade observada, como pode ser verificado na seguinte figura:

Figura 1: Virada de rodapé não realizada.



Fonte: Elaborada pelos autores

Esta situação permite o contato entre o contrapiso e a parede, permitindo que a vibração seja transmitida para a mesma, o que comprometerá o desempenho do sistema. Pode ser observado também que o contrapiso flutuante está em contato direto com o contrapiso da área molhada, o que também permite a transmissão da vibração. As seguintes observações foram feitas:

- Realizar sempre a virada de rodapé, sobrepondo 10 cm na parede;
- Sobrepor a manta nas regiões de encontro entre contrapiso flutuante e contrapiso de áreas impermeáveis;
- Limpar sempre a laje antes da colocação da manta, impedindo que a mesma sofra esforços que comprometam sua integridade.

4. Conclusões

As conclusões deste trabalho se dividem em três etapas. Primeiramente, são apresentadas as conclusões referentes ao comportamento acústico global dos sistemas construtivos verificados nos dois edifícios estudados. Posteriormente, são apresentadas as conclusões referentes à contribuição do sistema de contrapiso flutuante no desempenho acústico ao ruído de impacto de pisos a partir da análise da rigidez dinâmica da manta acústica estudada. Por fim, são apresentadas as conclusões referentes ao acompanhamento da aplicação da manta acústica de isolamento de ruído de impacto.

4.1 Conclusões Sobre o Comportamento Acústico dos Sistemas Construtivos dos Edifícios Estudados

Os sistemas construtivos empregados, de um modo geral, ou não atingem os critérios acústicos estabelecidos pela NBR 15575:2013 ou atingem valores bem aproximados dos mínimos. Desta forma, as soluções atualmente adotadas para vedações verticais e horizontais devem ser revistas pelos projetistas e construtores. O único critério que proporciona certa margem em relação ao valor obrigatório é o desempenho sonoro de pisos ao ruído aéreo, mas o mesmo não acontece para o desempenho ao ruído de impacto destes sistemas.

É importante avaliar que, no caso do ruído de impacto de piso, os sistemas podem até atingir o desempenho acústico obrigatório estabelecido pela norma, mas tal fato não garante o conforto ao usuário, uma vez que os critérios de níveis mínimos são demasiadamente elevados quando comparados com os requisitos das normativas estrangeiras. Outra comprovação é o fato de que os ruídos estruturais são causa de muita

reclamação dos habitantes de edifícios residenciais, e em muitos destes casos os sistemas de piso adotados são semelhantes aos estudados nos edifícios analisados neste trabalho, mesmo que estes tenham atingido os valores mínimos da norma.

Portanto, para possibilitar qualidade acústica aos sistemas de piso quanto ao ruído de impacto, soluções como o contrapiso flutuante devem ser levadas em consideração.

4.2 Conclusões Sobre a Contribuição da Solução de Contrapiso Flutuante no Desempenho Acústico de Sistemas de Piso Quanto ao Ruído de Impacto.

A caracterização dos materiais acústicos quanto à rigidez dinâmica apresenta-se como informação relevante para o construtor no momento da escolha do material a ser utilizado em sistemas de contrapiso flutuantes.

O ruído estrutural ocasionado por percussão possui muita facilidade de propagação. A utilização da manta de polietileno expandido de baixa densidade para isolar a transmissão da vibração por contato entre o contrapiso e os sistemas de vedações horizontais e verticais tem potencial para proporcionar um desempenho acústico superior aos sistemas de pisos separando unidades habitacionais autônomas quanto ao ruído de impacto, segundo os resultados obtidos para as espessuras de 5 e 10 milímetros.

Para esta solução apresentar o desempenho acústico previsto em cálculo, o procedimento de execução deve garantir o total isolamento do contrapiso com os demais sistemas da edificação.

4.3 Conclusões Sobre a Execução do Contrapiso Flutuante

Após a realização do acompanhamento da aplicação da manta acústica de PEBD em uma obra de Fortaleza, concluiu-se que os construtores desconhecem o procedimento de execução do contrapiso flutuante e, mesmo quando informados previamente pelo fornecedor, alguns cuidados fundamentais tentem a ser desobedecidos, podendo comprometer o desempenho da solução. Desta forma, é importante que os fornecedores de mantas acústicas ofereçam um acompanhamento técnico aos clientes, principalmente para construtoras que ainda não possuam experiência na realização deste processo.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [2] EN 12354-2 (2000). Building acoustics. Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms.
- [3] EN ISO 717-2 (1996). Acoustics. Rating of soundinsulation in buildings and of buildings elements. Part 2: Impact sound.
- [4] NEVES, A.; ANTÔNIO J.; NOSSA A. Resultados Experimentais da Rigidez Dinâmica de Materiais Usados Sob Pavimentos Flutuantes., Coimbra, Acústica 2008, **Universidade de Coimbra**.
- [5] SCHIAVI, A.; BELLI, A. P.; RUSSO, F. Estimation of Acoustical Performance of Floating Floors from Dynamic Stiffness of Resilient Layers., **Building Acoustics**, v. 12, n. 2, 2005.
- [6] BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**/ Sylvio R. Bistafa – 2.ed. revista, - São Paulo: Blucher, 2011.

Desenvolvimento e Validação de um Sistema para Controle de Qualidade em Linha de Montagem de Câmbios Automotivos Utilizando Filtragem Adaptativa

OLIVEIRA FILHO, R.H.*; DUARTE, M.A.V.+

*Laboratório de Vibrações, Acústica e Controle, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, ricardo.filho@icte.ufm.edu.br

+ Laboratório de Vibrações e Acústica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, mvduarte@mecanica.ufu.br

Resumo

As técnicas tradicionais de análise de sinais, em conjunto com o monitoramento de vibrações oriundas do funcionamento de câmbios automotivos, podem ser utilizadas para definir valores objetivos de aceitação ou recusa num programa de qualidade. Porém, devido à complexidade da dinâmica de tais sistemas mecânicos e aos ruídos inerentes a uma linha de produção, existe uma grande dificuldade na definição dos sintomas de controle e determinação de valores limites. Neste trabalho é apresentado um procedimento utilizando a filtragem adaptativa, via algoritmo dos mínimos quadrados (LMS), como ferramenta de auxílio nos procedimentos de controle de qualidade via monitoramento de vibrações. A metodologia é baseada na utilização dos sinais, medidos num teste padronizado, como sinal primário e de referência no procedimento de filtragem. Pretende-se através de sua utilização retirar do sinal a ser filtrado, somente aquela parcela que esteja correlacionada com o engrenamento, sendo o resíduo uma parcela do sinal proveniente de falhas de fabricação ou montagem. Para a avaliação da capacidade da metodologia proposta, inicialmente foram utilizados sinais gerados computacionalmente, simulando sinais de engrenamento reais. Posteriormente foram coletados sinais de vibração de câmbios aprovados em um procedimento de controle de qualidade e inseridas não conformidades comuns de fabricação e montagem. A partir dos resultados da filtragem (sinal filtrado e resíduo), o procedimento foi validado.

Palavras-chave: Câmbios Automotivos. Filtro adaptativo LMS. Controle de Qualidade.

1. Introdução

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de aumentar a vida útil das caixas de transmissão. Dentre as diversas vertentes, o estudo dos fatores pertinentes ao projeto, como os efeitos decorrentes da geometria inadequada dos dentes das engrenagens, é uma das mais importantes (HOWARD *et al.*, 2001; VELEX & MAATAR, 1996; AMABILI & FREGOLENT, 1998). Outro campo de pesquisa de grande enfoque é o da análise dos sinais ou também conhecido como análise de assinaturas (BRAUN, 1986) com o objetivo de prever o estado das caixas de engrenagens, de preferência o mais prematuramente possível (WANG & MCFADDEN, 1995; WANG *et al.*, 2001; CHOI *et al.*, 1996).

O Laboratório de Sistemas Mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, em parceria com a Engenharia de Processo da FIAT Automóveis S/A, desenvolveu uma série de procedimentos computacionais e experimentais para serem utilizados como ferramenta de apoio na quantificação e identificação das possíveis fontes de rumorosidade nas caixas de transmissão ensaiadas nas bancadas de teste de

câmbios da unidade FIASA em Betim, Minas Gerais (MENEGATTI, 1999; SANTANA *et al.*, 1998). Atualmente encontra-se em funcionamento um aplicativo que executa um procedimento passa não passa, utilizando curvas de mérito constituídas a partir de um banco de dados compostos por câmbios que foram considerados bons em ensaios na máquina de manobrabilidade e em testes de pista (PENA, 2003).

Observa-se que a rejeição dos câmbios ensaiados, ao se utilizar o procedimento adotado, está associada a algum problema ocorrido durante o processo de fabricação ou montagem. Atualmente, constatada a rumorosidade, a definição das causas que resultaram em tal problema é efetuada por meio de testes dimensionais de todas as engrenagens, eixos e carcaças que compõem os câmbios. Considerando que a caracterização completa de uma engrenagem implica em dezenas de procedimentos metrológicos, conclui-se que a identificação da causa da rumorosidade tem custo elevado além de grande tempo despendido.

Um problema a enfrentar na realização da manutenção preditiva por análise de vibrações é a dificuldade de aquisição dos sinais diretamente do componente a analisar. Com isto os sinais medidos

estão sujeitos a problemas relacionados à propagação do fenômeno vibratório pela máquina, devido à própria impedância mecânica da estrutura, que acarreta uma perda da energia oscilatória e atenuação da transmissão de forças de oscilação. Sabe-se também que o sinal obtido é contaminado por outras informações que não dizem respeito à detecção e diagnóstico de falhas em um determinado componente, como aquelas advindas de outras fontes vibratórias, além de ruídos externos diversos. Como tentativa de contornar este problema, uma ferramenta empregada é a filtragem dos sinais, desta forma consegue-se uma melhor qualidade nestes, permitindo uma análise mais confiável. A utilização da filtragem é justificada devido ao comportamento do sinal, pois a rotação varia como tempo.

Dentro deste contexto surge a necessidade do desenvolvimento de ferramentas que atendam às exigências do mercado atual. O objetivo deste trabalho é a elaboração de uma ferramenta que realize a filtragem dos sinais de engrenamento de câmbios recém-saídos da linha de montagem, extraindo destes as possíveis interferências procedentes de defeitos e falhas de fabricação e montagem, podendo então avaliá-los de maneira mais criteriosa.

2. Desenvolvimento

2.1 Filtragem Adaptativa

Segundo Marques (2003), a filtragem adaptativa tem sua aplicação considerada vantajosa em relação aos filtros tradicionais quando há a necessidade de processar sinais cujas propriedades estatísticas do seu ambiente são inicialmente desconhecidas. Desta forma, estes filtros se adaptam de forma recursiva ao fenômeno que dá origem ao sinal mediante a variação de parâmetros da sua função de transferência a cada iteração, acompanhando as variações estatísticas dos sinais e permitindo uma filtragem eficaz em casos em que as técnicas do processamento digital de sinais tradicional são deficitárias.

No caso de ambientes estacionários em relação às suas propriedades estatísticas, utiliza-se comumente o filtro de Wiener cujos parâmetros da sua função de transferência são constantes e definidos sob a regra da minimização do erro médio quadrático entre a sua saída e uma resposta definida como desejada. Primeiramente, são definidas condições iniciais, devido ao desconhecimento das propriedades estatísticas do sinal e, segundo Marques (2003), após um número de iterações, os parâmetros do filtro convergem para um conjunto conhecido como solução ótima de Wiener.

Os filtros adaptativos também se destinam a extrair informação de interesse de um ambiente contaminado por uma interferência (ou ruído), e estes, segundo Marques (2003), são lineares no sentido de que a saída oferecida é uma função linear das observações apresentadas à sua entrada.

A maioria dos algoritmos adaptativos busca os coeficientes ótimos através do método do gradiente descendente (*Gradient Descent*) ou método da máxima descida (*Steepest Descent*) segundo a direção oposta do gradiente do erro. Quando esta superfície corresponde ao erro quadrático instantâneo e se utiliza um filtro FIR (Resposta Finita ao Impulso), o algoritmo em questão se denomina LMS (*Least Mean Square*). Este é o algoritmo mais usado na implementação de filtros adaptativos, pois além de ser simples de implementar, é eficiente (BEZERRA, 2004).

Para aumentar a velocidade de convergência do algoritmo LMS, propõe-se na literatura (MARQUES, 2003) uma versão modificada deste, o algoritmo de Mínimos Quadrados Normalizado (NLMS), conforme utilizado por Nunes (2006).

Na Figura 1 está ilustrado o diagrama de filtragem adaptativa utilizado.

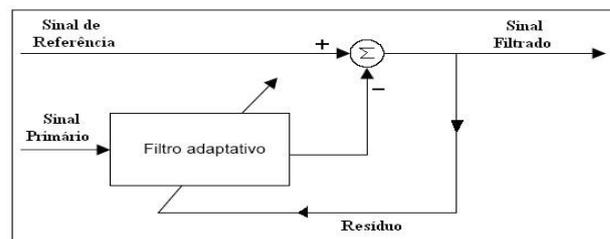


Figura 1: Diagrama da técnica da filtragem adaptativa.

O resíduo de filtragem é estimado pela Equação 01.

$$Resíduo(k) = Sinal Filtrado(k) - Sinal de Referência(k)$$

[Eq. 01]

2.2 Modelo para o Sinal de Engrenamento

2.2.1 Sinal de Engrenamento Real

O processo de análise de sinais de câmbios é na maioria das vezes de difícil execução, uma vez que embora apenas um par de engrenagens esteja efetivamente transmitindo potência, todos os demais permanecem engrenados, fazendo com que um defeito presente em uma marcha se manifeste mesmo que esta não esteja transmitindo potência.

A Figura 2 mostra os gráficos de aceleração (Figura 2-a) e rotação (Figura 2-b) no domínio do tempo de um câmbio isento de defeitos

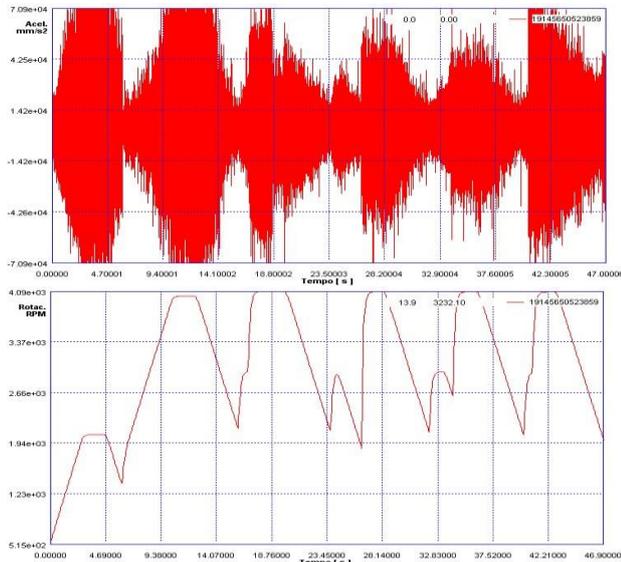


Figura 2: Sinal de vibração coletado de um câmbio isento de defeitos. a) Aceleração x Tempo. b) Rotação x Tempo.

A Figura 3 ilustra o gráfico de aceleração (Figura 3-a) e rotação (Figura 3-b) no domínio do tempo de um câmbio com defeito na quinta marcha.

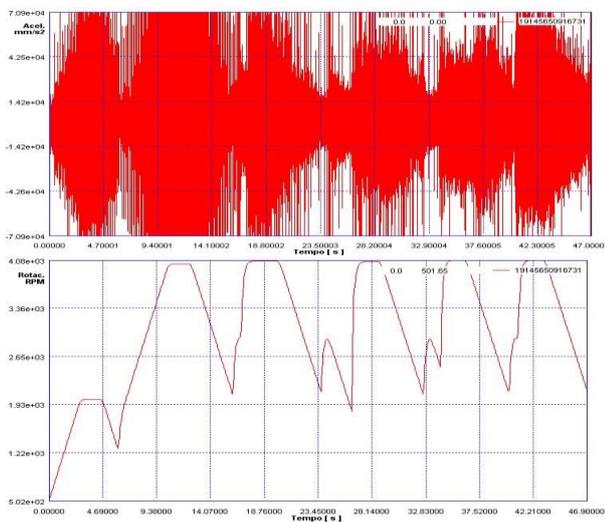


Figura 3: Sinal de vibração coletado de um câmbio com defeito na quinta marcha. a) Aceleração x Tempo. b) Rotação x Tempo.

Nota-se claramente nos gráficos das acelerações (Figuras 2-a e 3-a) que, apesar do defeito estar presente em apenas uma relação de marchas, este é transmitido a todas as outras. Contudo nos gráficos das rotações (Figuras 2-b e 3-b) nenhuma diferença relevante é observada.

A utilização da filtragem adaptativa com o algoritmo LMS é justificada devido ao comportamento do sinal, onde a rotação varia como tempo, como é

visto nas Figuras 2-b e 3b, que ilustram a variação da rotação no ciclo de engrenamento, desde a marcha a ré até a quinta marcha. Desta forma, por se tratar de filtro de correlação, pretende-se através de sua utilização retirar do sinal a ser filtrado, somente aquela parcela que esteja correlacionada com o engrenamento, sendo o resíduo uma parcela do sinal proveniente de falhas de fabricação ou montagem.

2.2.2 Sinal de engrenamento simulado

Visando simular um câmbio com defeito na quinta marcha, uma varredura senoidal (sine sweep) acrescida de funções seno representará o sinal de engrenamento e uma outra parcela de funções seno e ruído branco representará os possíveis defeitos de fabricação e montagem.

Nas simulações numéricas utilizadas neste trabalho, a varredura senoidal tem como características: iniciar-se em 800 Hz e durante 1 segundo aumentar linearmente até 3800 Hz, se manter-se constante neste valor durante 1 segundo e diminuir linearmente para 1200 Hz durante 1 segundo.

Para simular os defeitos que possam ocorrer devido a erros de montagem e fabricação, serão acrescentados aos sinais:

- Sinal de Engrenamento: uma função seno com frequência de 1000 Hz, defasagem de 30° e amplitude 60% menor que o valor da amplitude na varredura senoidal, uma função seno com frequência de 1500 Hz com amplitude variável e inicialmente 40% menor que o valor da Amplitude da varredura senoidal, outra função seno com frequência de 2500 Hz e com amplitude 80% menor que o valor da Amplitude da varredura senoidal.
- Sinal de Defeito: um ruído branco com Amplitude de 50% do valor da Amplitude da varredura senoidal, uma função seno com frequência de 2000 Hz e com defasagem de 60° e com Amplitude de 50% do valor da

Amplitude da varredura senoidal, uma função seno com frequência de 3000 Hz e com amplitude variável e inicialmente 40% menor que o valor da Amplitude da varredura senoidal.

2.3 Metodologia para Análise dos Sinais

É sabido que, na análise de sinais de comportamento transiente e não estacionário, onde a frequência varie com o tempo, é necessário o uso de metodologias de análises tempo-frequência. Neste trabalho foi utilizada a média exponencial, aqui denominada curva RMS. A média exponencial, \bar{x}^2 , é dada pela Equação 2.

$$\bar{x}_i^2 = x_{i-1}^2 + (x_i^2 - x_{i-1}^2)/k \quad [\text{Eq. 02}]$$

onde \bar{x}_i^2 é o i -ésimo termo do vetor \bar{x}^2 e k é dado pela Equação 3.

$$k = f_{\text{aquis}}T + 1 \quad [\text{Eq. 03}]$$

f_{aquis} é a frequência de aquisição em Hz e T é o tempo de integração, sendo este, neste trabalho, igual a 125×10^{-3} s, o que corresponde a um tempo de integração rápido (*fast*), permitindo então um “esquecimento” das ocorrências passadas no sinal analisado.

3. Resultados e Discussões

3.1 Simulações Computacionais

Conhecendo as características do sinal em estudo, aplica-se a técnica da filtragem adaptativa, pois, utilizando um filtro adaptativo com algoritmo LMS normalizado, pode-se obter o sinal de engrenamento sem a interferência das fontes externas. Na Figura 4 está ilustrado o diagrama de filtragem adaptativa utilizado nesta simulação, onde:

- d é o sinal de Engrenamento (varredura senoidal);
- r é o ruído provindo de fontes externas ao funcionamento do câmbio (defeitos de fabricação e montagem);
- x é o sinal de engrenamento contaminado pelo ruído;
- e é o erro entre o sinal estimado e o desejado;
- y é o sinal de engrenamento estimado.

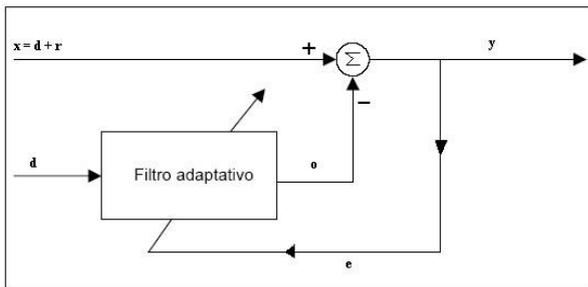


Figura 4: Diagrama da técnica da filtragem adaptativa.

Os parâmetros do filtro LMS, obtidos através de uma otimização randômica são:

- Número de pesos do filtro (L) = 20;
- Razão de convergência (μ) = 0,008;
- Fator de esquecimento (α) = 0,01;

Os sinais utilizados como entradas do diagrama da Figura 4 estão ilustrados na Figura 5. Na Figura 5-a

é ilustrado o sinal primário no domínio do tempo e sua respectiva densidade espectral de potência (DEP) está representada na Figura 5-b. O sinal de referência no domínio do tempo está ilustrado na Figura 5-c e sua respectiva densidade espectral de potência está mostrada na Figura 5-d.

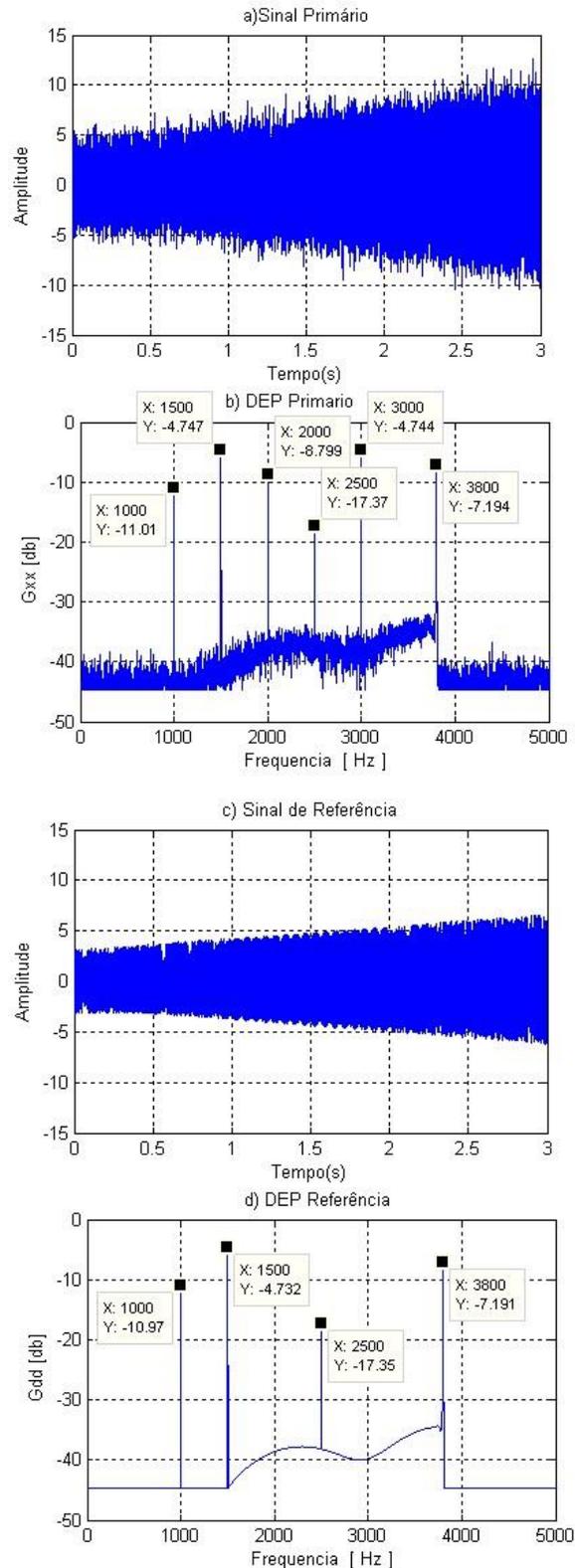


Figura 5: a) Sinal primário. b) DEP – Densidade espectral de potência do sinal primário. c) Sinal de Referência. d) DEP do sinal de Referência.

Na Figura 6 está ilustrado o resultado obtido com o filtro no domínio do tempo, ou seja, o sinal de engrenamento estimado com o filtro LMS (Figura 6-a), e juntamente neste mesmo gráfico, o sinal de engrenamento teórico (Figura 6-b) para fins de comparação.

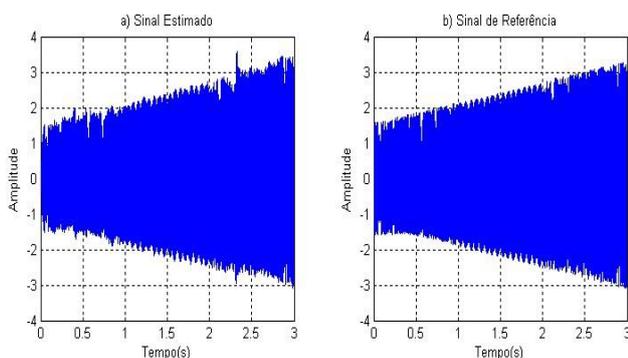


Figura 6: a) Sinal de Engrenamento estimado com o filtro. b) Sinal de Engrenamento teórico.

Pode-se observar na Figura 7-a que existe uma diferença entre os valores de energia na faixa de frequência de 1200 Hz a 3800 Hz, isso é explicado porque o ruído branco não foi totalmente eliminado no processo de filtragem, restando um resíduo. Tal resíduo é da ordem de, no máximo, 1 dB, contudo em toda a faixa de frequência a varredura estimada consegue aproximar-se da varredura teórica. Aparecem picos de energia nas frequências de 1000 Hz, 1500 Hz, e 2500 Hz, estes provindos das funções seno que foram acrescentadas à varredura senoidal e outros picos, um de aproximadamente 4 dB na frequência de 2001 Hz, outro de 2 dB na frequência de 2997 Hz e mais um de 5 dB na frequência de 3009 Hz. Estes picos dizem respeito às funções seno acrescentadas ao sinal de defeito, desta forma podemos concluir que o filtro não consegue eliminar totalmente estas interferências, apesar de reduzi-las, no caso da frequência de 2000 Hz, em cerca de 29 dB e para a frequência de 3000 Hz, em cerca de 35 dB.

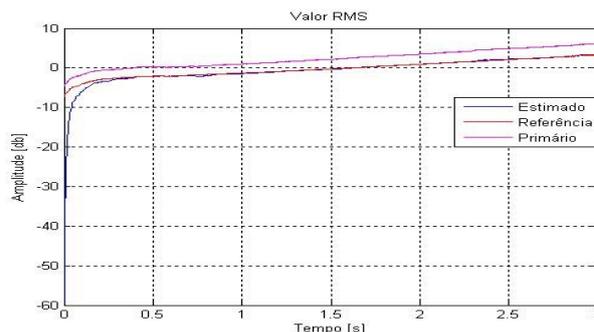
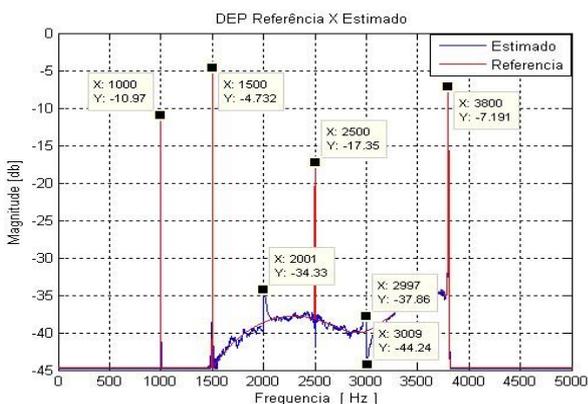


Figura 7: a) DEP dos sinais de referência e estimado. b) Curva RMS dos sinais primário, referência e estimado.

As densidades espectrais de potência dos sinais mostrados na Figura 6 encontram-se na Figura 7-a. A Figura 7-b ilustra a comparação entre as curvas dos valores globais absolutos (RMS) dos sinais, confirmando que, mesmo com os erros apresentados nos gráficos das densidades espectrais de potência, o filtro se mostra eficaz.

O erro absoluto entre a varredura teórica e a estimada pelo filtro em toda a faixa de frequência analisada está ilustrado na Figura 8. Observa-se que, como nas outras simulações, o erro absoluto se mantém na faixa de -1 a 1 dB na maior parte da faixa de frequência em estudo (800 Hz a 3800 Hz). Aparece um pico de 7,34 dB para a frequência de 1002 Hz, um pico de 5,26 dB para a frequência de 1498 Hz, um pico de aproximadamente 4,86 dB para a frequência de 2003 Hz e um pico de aproximadamente 3,36 dB para a frequência de 2498 Hz, um vale de aproximadamente 3,47 dB para a frequência de 2503 Hz, um pico de aproximadamente 1,9 dB para a frequência de 2998 Hz e um vale de aproximadamente 4,83 dB para a frequência de 3005 Hz. Tais valores dizem respeito às frequências dos defeitos simulados (1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz e 3000 Hz). O pico de 2,18 dB para a frequência de 3815 Hz, diz respeito à frequência de 3800 Hz, sendo esta frequência aquela onde a varredura senoidal tem o valor constante durante 1 segundo. Os valores não são precisamente exatos devido à interferência do ruído branco.

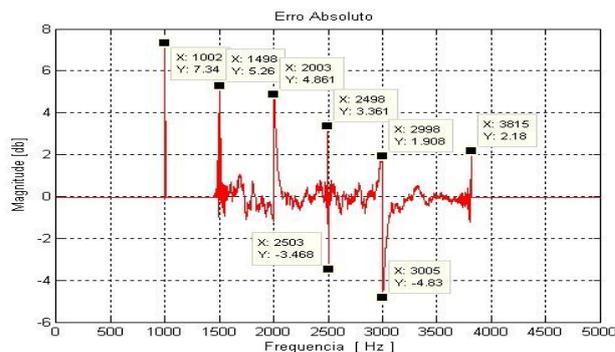


Figura 8: Erro entre a varredura teórica e a varredura estimada com o filtro.

3.1.1 Análise dos resultados das simulações

Mesmo com o erro apresentado, pode-se concluir que o filtro possivelmente atenderá à finalidade para a qual foi desenvolvido, uma vez que nas densidades espectrais de potência (Figura 4.5-a), as frequências referentes defeitos existentes no câmbio (2000 Hz e 3000 Hz) apresentaram-se com amplitude bem menor do que o restante do sinal.

Propõe-se então a aplicação do filtro em sinais de engrenamento reais, e assim averiguar a veracidade dos resultados aqui obtidos.

3.2 Utilização de Sinais Reais de Engrenamento

3.2.1 Escolha do sinal de referência

O procedimento adotado nesta etapa foi a comparação entre os níveis RMS dos sinais. Foram coletados sinais de engrenamento de onze (11) câmbios isentos de defeitos, e dentre estes foi escolhido o sinal de referência para o filtro LMS. Para tal escolha, traçaram-se as curvas de valor absoluto (RMS) e a curva de valor médio dentre eles (Figura 9).

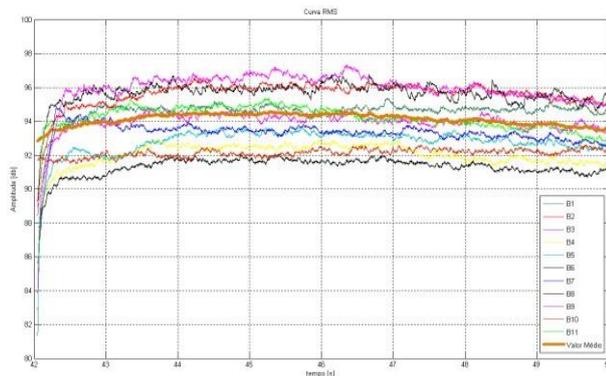


Figura 9: Curvas RMS e de Valor Médio dos sinais de engrenamento bons.

Com o intuito de não divulgar os resultados numéricos dos testes realizados pela FIAT Automóveis, todos os sinais analisados foram multiplicados por um coeficiente, sendo os valores, em [mm/s²], em [RPM] ou em [dB] nos gráficos e tabelas, apenas para fins de comparação.

Analisando a Figura 9, verifica-se que a curva do câmbio B9 é a que mais se aproxima do valor médio, funcionando como um bom demonstrativo da curva característica de um engrenamento sem defeito, sendo escolhido como sinal de referência.

3.2.2 Tratamento dos sinais de engrenamento

Os sinais adquiridos no banco de prova e câmbio apresentam o ciclo completo de engrenamento, desde a ré até a quinta marcha. Contudo, como os defeitos a serem considerados aparecem somente na quinta marcha, se fez necessário

separar a parcela do sinal referente à marcha de interesse.

Nos gráficos de Aceleração x Tempo (Figura 10-a) e Rotação x Tempo (Figura 10-b) de um sinal de engrenamento, é possível estimar o instante de início e término do engrenamento da 5ª marcha, por volta do instante 42 segundos (conforme indicado pela seta) e 50 segundos (final do gráfico), respectivamente.

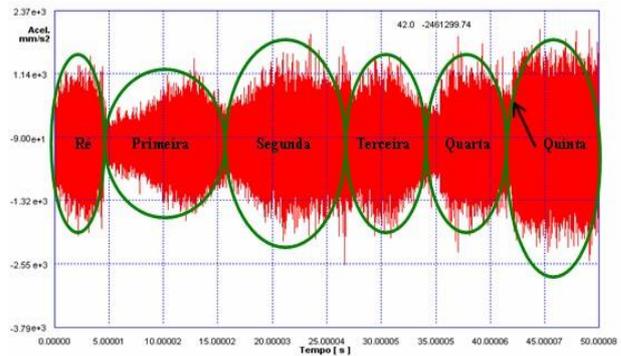


Figura 10-a: Gráfico Aceleração x Tempo para um sinal de engrenamento.

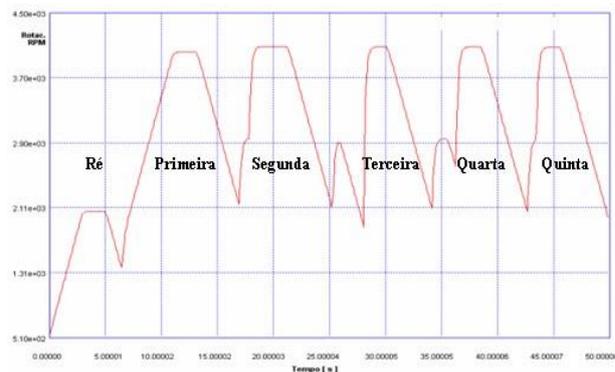


Figura 10-b: Gráfico Rotação x Tempo para um sinal de engrenamento.

No sistema a ser implantado no banco de prova, o início e o término de cada ciclo são controlados via CLP (Controlador Lógico Programável), ou seja, o início dos ciclos é determinado com grande precisão.

Para que o filtro adaptativo seja eficiente, o início do ciclo do sinal que será filtrado deve coincidir com o início do ciclo do sinal de referência. Sendo assim, foi necessário desenvolver um procedimento de otimização via algoritmo genético, através de análises de correlação entre as rotações dos sinais que serão filtrados e de referência.

Foi definido o intervalo de restrição lateral de menos e mais um segundo (41 e 43 segundos) em relação ao início do ciclo da quinta marcha (42 segundos) e escolhido o ponto de maior correlação entre os sinais, sendo este o ponto de partida para a aquisição dos sinais que serão analisados.

3.2.3 Filtragem dos sinais de aceleração

Para um satisfatório procedimento de filtragem dos sinais, é necessário ajustar os parâmetros a serem utilizados no filtro. Quando se diz parâmetros do filtro, está se referindo aos parâmetros iniciais do algoritmo LMS, ou seja, números de pesos do filtro (L), razão de convergência (μ) e fator de esquecimento (α). Tais parâmetros dependem das características dos sinais utilizados.

Para o ajuste dos parâmetros do filtro, adicionou-se ao sinal de referência, como sinais de interferência, um ruído branco de mesmo nível RMS, simulando alguma interferência externa ao funcionamento do câmbio.

A escolha dos parâmetros μ , α e L para utilização no filtro adaptativo foi feita após um processo de otimização randômica, onde a função objetivo foi a minimização do erro entre o sinal de engrenamento estimado (obtido com a utilização do filtro adaptativo) e o sinal de referência.

A Figura 11-a compara o sinal de referência com o sinal primário. A Figura 11-b compara o sinal de engrenamento estimado pelo filtro com o sinal de referência. Apesar de estarem no domínio do tempo, é possível verificar a minimização da interferência do ruído adicionado.

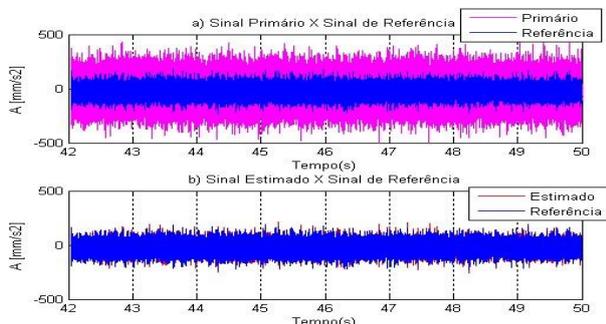


Figura 11: a) Sinal de Referência X Sinal Primário. b) Sinal de Referência X Sinal Estimado.

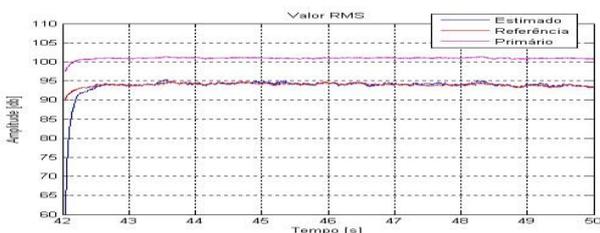


Figura 12: Comparação entre as curvas de valor absoluto (RMS) dos sinais.

Na Figura 12 pode-se comparar as curvas de valor absoluto (RMS) dos sinais de referência, primário e estimado, para os parâmetros otimizados $L = 8$, $\mu = 0,01$ e $\alpha = 0,001$.

Através das análises dos gráficos das Figuras 11 e 12, constata-se que o filtro age de maneira eficaz,

aproximando o sinal primário do sinal de referência com um erro médio de aproximadamente 0,125 dB, valor este calculado pela máxima diferença entre os valores RMS dos sinais Estimado e de

Referência da Figura 12.

Para uma melhor verificação do desempenho do filtro, adicionou-se ao sinal de ruído, além do ruído branco, três harmônicos:

- Um com frequência 4000 Hz e amplitude variável;
- Outro com frequência de 2500 Hz, amplitude de 30% do valor da amplitude do sinal de referência e defasado de 60°;
- Outro com frequência de 3000 Hz, amplitude de 40% do valor da amplitude do sinal de referência e defasado de 45°.

Analisando a Figura 13, que compara as curvas de valor absoluto (RMS) dos sinais, constata-se que o filtro ainda age de maneira eficaz, aproximando o sinal primário do sinal de referência com um erro médio de aproximadamente 0,5 dB, sendo então confirmado o uso dos parâmetros já estipulados.

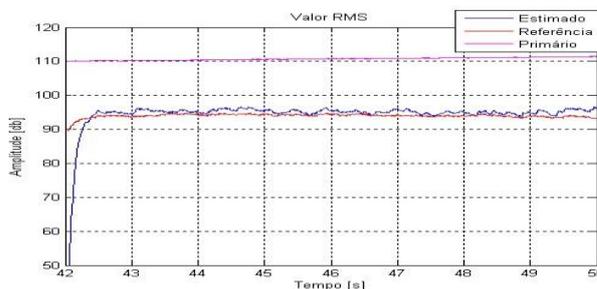


Figura 13: Comparação entre as curvas de valor absoluto (RMS) dos sinais.

4. Conclusões

Foi desenvolvido um filtro adaptativo NLMS (*Normalized Least Mean Square*) com o intuito de ser empregado como ferramenta para controle de qualidade em uma linha de fabricação e montagem de câmbios automotivos.

Simulou-se um sinal de engrenamento com defeitos de fabricação e montagem. Observando-se os resultados obtidos na filtragem, pôde-se constatar que o filtro NLMS agiu de maneira eficaz, uma vez que atenuou significativamente as interferências provindas de defeitos de fabricação ou montagem que possam vir a existir em um sinal de engrenamento real, não importando a quantidade ou intensidade, sejam eles com ou sem modulações em amplitude ou fase.

Mesmo com o erro apresentado, pôde-se concluir que o filtro possivelmente atenderá à finalidade para a qual foi desenvolvido, uma vez que nas

densidades espectrais de potência (Figura 4.5-a), câmbio (2000 Hz e 3000 Hz) apresentaram-se com amplitude bem menor do que o restante do sinal.

Foi proposta a aplicação do filtro em sinais de engrenamento reais, e assim averiguar a veracidade dos resultados aqui obtidos.

Utilizou-se um sinal de engrenamento real e simularam-se defeitos de fabricação e montagem. Observando-se os resultados obtidos na filtragem, pôde-se constatar que o filtro NLMS agiu de maneira eficaz, uma vez que atenuou significativamente as interferências simuladas, que possam vir a existir em um sinal de engrenamento real, não importando a quantidade ou intensidade, sejam eles com ou sem modulações em amplitude ou fase.

Mesmo com o erro apresentado, pode-se concluir que o filtro possivelmente atenderá à finalidade para a qual foi desenvolvido, uma vez que o erro não excedeu, em módulo, 1 dB.

Referências

- [1] AMABILI M.; FREGOLENT A., 1998, A Method to Identify Model Parameters and Gear Errors by Vibrations of a Spur Gear Pair, **Journal of Sound and Vibration**, Vol. 214, No. 2, pp. 339-357.
- [2] BEZERRA, R. A., 2004, **Deteção de Falhas em Rolamentos por Análise de Vibração**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- [3] BRAUN, S., 1986, **Mechanical Signature Analysis: Theory and Applications**, 1.ed. Academic Press, London, 385p.
- [4] CHOI, F. K.; POLYSHCHUK, J. J. Z.; HANDSCUH, R. F.; TOWNSEND, D. P., 1996, Analysis of the Effects of Surface Pitting and Wear on the Vibration of a Gear Transmission System, **Tribology International**, Vol. 29, n. 1, pp. 77-83.
- [5] HOWARD, I.; JIA, S.; WANG, J., 2001, The Dynamic Modeling of Spur Gear in Mesh Including Friction and a Crack, **Mechanical System and Signal Processing**, Vol. 5, pp. 438-449.
- [6] MARQUES, P. A. C., 2003, **Introdução à Filtragem Adaptativa**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Apostila do curso de Processamento Digital de Sinal II - Engenharia Informática e de Computadores.
- [7] MENEGATTI, W. B., 1999, **Identificação de Falhas em Caixas de Câmbios, Via Sinais de Vibração**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.
- [8] NUNES, M. A. A., 2006, **Uma Metodologia para Quantificação da Contribuição Sonora de Fontes de Ruído Industrial no Meio Ambiente**,

as frequências referentes defeitos existentes no Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

[9] PENA, J. L. O., 2003, **Um Estudo Sobre o Uso de Técnicas Não Tradicionais Aplicadas à Deteção de Defeitos de Fabricação em Câmbios Automotivos**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

[10] SANTANA, D.; RIBEIRO, C. R.; DUARTE, M. A. V.; CABACINHA, A., 1998, **Um Procedimento Estatístico Para Identificação de Rumoridades em Câmbios em Linhas de Montagem**, Congresso SAE Brasil'98, São Paulo, Brasil.

[11] VELEX, P.; MAATAR, M., 1996, A Mathematical Model for Analyzing the Influence of Shape Deviations and Mounting Errors on Gear Dynamic Behavior, **Mechanical Systems and Signal Processing**. Vol. 191, No. 5, pp. 629-660.

[12] WANG, W. J.; MACFADDEN, P. O., 1995, Decomposition of Gear Motion Signals and Its Application to Gearbox Diagnostics, **ASME Journal of Vibration and Acoustics**, Vol. 117, pp. 363-369.

[13] WANG, W. Q.; ISMAIL, F.; GOLNARAGHI, M. F., 2001, Assessment of Gear Damage Monitoring Techniques Using Vibration Measurements, **Mechanical Systems and Signal Processing**. Vol. 15, No. 5, pp. 905-922.

Lista de Símbolos

- B_k Vetor dos coeficientes do filtro LMS.
- b_n n-ésimo coeficientes do filtro LMS.
- E Esperança matemática.
- L Tamanho do vetor de coeficiente do filtro adaptativo (número de pessoas do filtro)
- X_k Vetor de entrada do filtro adaptativo com k amostras.
- Y_k k-ésima saída do filtro adaptativo.
- ε^2 Erro médio quadrático.
- μ Taxa de convergência do filtro adaptativo
- σ^2 Potência do sinal de entrada do filtro adaptativo.
- α Fator de esquecimento (forgetting factor) do filtro adaptativo.
- DEP Densidade Espectral de Potência.
- LMS Algoritmo de Mínimos Quadrados (Least Mean Square).
- NLMS Algoritmo de Mínimos Quadrados Normalizado (Normalized Least MeanSquare).

Identificação dos Níveis de Pressão Sonora em um Duto Fechado/Aberto Via Técnica dos Elementos Finitos

OLIVEIRA FILHO, R. H.*; SILVA, L. C. M.*

* Laboratório de Vibrações, Acústica e Controle, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, ricardo.filho@icte.ufm.edu.br

* Marinha Mercante do Brasil, Rio de Janeiro - RJ, lcesarsilva@gmail.com

Resumo

A busca pela melhoria da qualidade de vida do ser humano tem sido um dos objetivos fundamentais da ciência. Na área da engenharia, o controle da poluição sonora tem mobilizado boa parte das pesquisas, em ciência aplicada. Uma alternativa são os denominados controladores ativos de ruído (“*Active Noise Control – ANC*”). Estes controladores empregam normalmente sensores e atuadores eletroacústicos e/ou eletromecânicos que, procuram cancelar o ruído não desejado baseado no princípio da superposição de ondas. O objetivo deste trabalho é desenvolver e validar experimentalmente um modelo computacional, baseado em elementos finitos, que represente o comportamento acústico de um duto reto de seção circular. O intuito é gerar um sinal de controle, de igual amplitude e fase oposta ao ruído não desejado, que provoque o cancelamento do sinal ruidoso num determinado ponto ou região de interesse. Foi montada uma bancada experimental constituída por um duto de PVC instrumentado com alto falante e microfones. Foram projetados e construídos amplificadores e condicionadores de sinais para realizar a interface entre os transdutores e a respectiva plataforma de controle *dSPACE*[®]. O modelo desenvolvido para as simulações no *ANSYS*[®] atendeu às expectativas, uma vez que foi possível identificar os níveis de pressão sonora com um erro inferior a 4%, comparado ao valor experimental.

Palavras-chave: Ruído em dutos. Identificação de níveis de ruído. Elementos finitos.

1. Introdução

A busca pela melhoria da qualidade de vida do ser humano tem sido um dos objetivos fundamentais da ciência. Nesta busca as questões que afetam a saúde e o conforto do homem ocupam lugar de destaque. Na área da engenharia, o controle da poluição sonora tem mobilizado boa parte das pesquisas, em ciência aplicada. Há dois grandes campos de estudos nesta área: a dos controladores passivos e a dos controladores ativos de ruído.

Os métodos tradicionais utilizados para o controle do ruído acústico utilizam técnicas passivas e servem de barreiras acústicas e silenciadores (HARRIS, 1991; BERANEK *et al.*, 1992). Nestes métodos são empregados materiais elastoméricos (borrachas, resinas) em suas diversas formas: subestruturas mistas metal-elastômero, materiais viscoelásticos, neutralizadores, isoladores (ESPÍNDOLA *et al.*, 1998). Os silenciadores passivos são eficientes quando se deseja atenuar ruídos numa banda larga de frequência. São relativamente volumosos, caros e ineficazes em baixas frequências (KUO *et al.*, 1999).

Uma alternativa ao controle passivo são os denominados controladores ativos de ruído (*Active Noise Control – ANC*). Estes controladores empregam normalmente sensores e atuadores

eletroacústicos e/ou eletromecânicos que, geridos por uma unidade eletrônica devidamente projetada, procuram cancelar o ruído não desejado baseado no princípio da superposição de ondas. A ideia é gerar um “antirruído”, de igual amplitude e fase oposta ao ruído não desejado, que provoque o cancelamento do sinal ruidoso num determinado ponto ou região de interesse. (NELSON *et al.*, 1992; HANSEN, 1997).

As redes de tubulação e duto estão entre as principais fontes e distribuidores de ruído em plantas industriais. Este ruído é gerado por grandes máquinas rotativas, equipamentos e válvulas, de alta pressão.

Segundo a empresa de controle de vibração e ruído, *Kinetics Noise Control*, o ruído devido ao fluxo turbulento nos dutos pode ser causado pela água ou outros fluidos que passam nos cotovelos, válvulas e outras áreas de transição das tubulações. O ar que circula ao longo dos dutos resulta na vibração de suas paredes, provocando irradiação de ruído.

Há, portanto, dois tipos distintos de ruído em dutos. Um se trata do ruído irradiado para fora do duto, o qual é provocado pela vibração de suas paredes. O outro é o ruído carregado ao longo do duto pelo fluxo dos fluidos.

Visando a minimização dos ruídos gerados em tubulações foram desenvolvidas as técnicas de Controle Ativo de Ruído (CAR). Para tal são utilizados microfones posicionados estrategicamente a fim de coletar os sinais de referência e de erro, onde o primeiro se refere ao ruído gerado na tubulação e o segundo é o ruído residual após a aplicação do controle. O sinal de erro é de suma importância no CAR, pois a partir dele é feita a otimização do sistema.

Para garantir a eficiência do procedimento, o microfone de erro deve ser posicionado em um ponto dentro do duto que apresente o pico do sinal de pressão sonora.

2. Desenvolvimento

2.1 Teoria Sobre Propagação de Ondas Sonoras em Dutos Retos

Assumindo-se um duto reto infinito com paredes internas rígidas, se o duto for excitado por uma fonte sonora, por exemplo, um ventilador ou uma válvula, as ondas acústicas propagadas obedecem à equação da onda (GERGES, 2000). Considerando o problema em duas dimensões y e z , de acordo com a Figura 1, o campo sonoro deve satisfazer à Equação 01.

$$\frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = 0 \quad [\text{Eq. 01}]$$

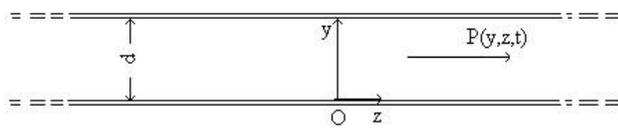


Figura 1: Coordenadas para propagação de ondas em dutos.

As condições de contorno de velocidade da partícula nula nas paredes rígidas são dadas pela Equação 02.

$$\frac{\partial P}{\partial y} = 0 \quad \text{em } y = 0 \text{ e } y = d \quad [\text{Eq. 02}]$$

Considerando a solução da onda com variação harmônica simples no tempo, tem-se:

$$P(y, z, t) = P(y, z) e^{i\omega t} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Substituindo a Equação 03 na Equação 02, resulta na Equação 04.

$$\frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + k^2 P = 0 \quad [\text{Eq. 04}]$$

onde $k = \omega/c$ é o número da onda acústica.

Separando-se as variáveis y e z , a solução pode ser escrita conforme a Equação 05.

$$P(y, z) = P1(y)P2(z) = A e^{\lambda_1 y} e^{\lambda_2 z} \quad [\text{Eq. 05}]$$

Então, substituindo a Equação 05 na Equação 04 tem-se:

$$(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + k^2) A_1 = 0 \quad [\text{Eq. 06}]$$

onde λ_1 e λ_2 são, em geral, valores complexos e A_1 é uma amplitude constante. A solução não trivial é dada por:

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 = -k^2 \quad [\text{Eq. 07}]$$

ou

$$\lambda_1 = \pm i \sqrt{k^2 + \lambda_2^2} \quad [\text{Eq. 08}]$$

Substituindo-se a Equação 08 nas Equações 03 e 05, obtém-se:

$$P(y, z, t) = e^{i\omega t} \left(A e^{\lambda_2 z} e^{iy \sqrt{k^2 + \lambda_2^2}} + B e^{\lambda_2 z} e^{-iy \sqrt{k^2 + \lambda_2^2}} \right)$$

[Eq. 09]

As condições de contorno da Equação 02 requerem:

$$\frac{\partial P}{\partial y} = e^{i\omega t} e^{\lambda_2 z} \left(iA \sqrt{k^2 + \lambda_2^2} e^{iy \sqrt{k^2 + \lambda_2^2}} - iB \sqrt{k^2 + \lambda_2^2} e^{-iy \sqrt{k^2 + \lambda_2^2}} \right) = 0 \quad [\text{Eq. 10}]$$

Aplicando-se a condição de contorno em $y=0$, tem-se que $A=B$. Então:

$$P(y, z, t) = 2A e^{i\omega t} e^{\lambda_2 z} \cos \left(y \sqrt{k^2 + \lambda_2^2} \right) \quad [\text{Eq. 11}]$$

Aplicando-se a condição de contorno em $y=d$, tem-se que $d \sqrt{k^2 + \lambda_2^2} = n\pi$, com $n = 0, 1, 2,$

....

Logo, os valores de λ_1 e λ_2 são:

$$\lambda_1 = \pm i \left(\frac{n\pi}{d} \right) \text{ e } \lambda_2 = \pm i \sqrt{k^2 - \left(\frac{n\pi}{d} \right)^2}$$

Então, a solução fica:

$$P(y, z, t) = 2A \cos \left[\left(\frac{n\pi}{d} \right) y \right] e^{\pm i \sqrt{k^2 - \left(\frac{n\pi}{d} \right)^2} z} e^{i\omega t} \quad [\text{Eq. 12}]$$

$P(y)$ tem a forma de distribuição de onda estacionária através do duto. Somente valores inteiros de n são permitidos e cada valor corresponde a um modo de propagação no duto, de acordo com a Figura 2.

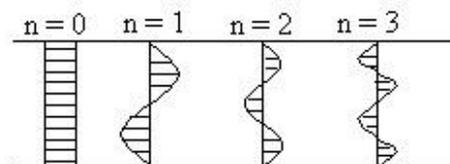


Figura 2: Pressão acústica $P(y)$ para vários modos.

Cada modo se propaga na direção z com um número de onda dado por:

$$\lambda_n = \sqrt{k^2 - \left(\frac{n\pi}{d} \right)^2} = \frac{1}{c} \sqrt{\omega^2 - \left(\frac{n\pi c}{d} \right)^2} \quad [\text{Eq. 13}]$$

Então, o modo n pode propagar somente se k_n for um valor real, onde:

$$\omega > \frac{n\pi c}{d} \text{ ou } f > \frac{nc}{2d}$$

Portanto tem-se um valor de f para cada n , ou $f_n = nc/2d$, chamada frequência de corte do modo n . Quando uma fonte acústica de frequência f excita o fluido no duto, somente aqueles modos tendo $f > f_n$ podem levar a energia acústica para longe da fonte. Por outro lado, modos tendo $f < f_n$ decaem exponencialmente próximo da fonte. Vale ressaltar que a onda plana de modo $n=0$ propaga-se em todas as frequências. Em um duto uniforme, de seção transversal retangular ($a \times b$), a frequência de modo (m, n) é dada por:

$$f_{m,n} = \sqrt{\left(\frac{mc}{2a}\right)^2 + \left(\frac{nc}{2b}\right)^2} \text{ [Eq. 14]}$$

Em um duto uniforme de seção transversal circular, a mais baixa frequência de corte é dada por $f(0,1) = 1,84c/\pi d$.

2.2 Objetivo

Desta forma, o objetivo deste trabalho é verificar a eficiência do programa ANSYS® na identificação da pressão sonora num determinado ponto ou região de interesse em um duto reto de seção circular. Tal procedimento será comparado com o procedimento experimental realizado na bancada a ser adiante.

2.3 Desenvolvimento do modelo computacional

Para iniciar o desenvolvimento do modelo, foram escolhidos, no pré-processador, os modelos de simulação matemática “Structural” e “ANSYS fluid” com *h-method*.

Foi utilizado elemento acústico FLUID29, com suas respectivas propriedades, considerando um coeficiente de admitância $MU=0,001$. Vale ressaltar que estes elementos foram criados tanto com estrutura presente para representar o contato fluido estrutura quanto com estrutura ausente para representar o elemento de fluido. Admitiu-se a propriedade de axissimetria do elemento, visando à minimização do custo computacional.

O elemento FLUID29 foi utilizado também para representar a saída do duto, cujas propriedades foram as mesmas do ar atmosférico, com um $MU=1,0$ para uma absorção total. Considerou-se uma constante real de 20×10^{-6} Pa como pressão de referência.

O modelo criado é mostrado na Figura 3.

Foi utilizada para uma malha de elementos quadrados com 14 mm de lado, como ilustrado na Figura 4. Tal medida visa reduzir o custo

computacional e permitir a conexão entre os elementos.

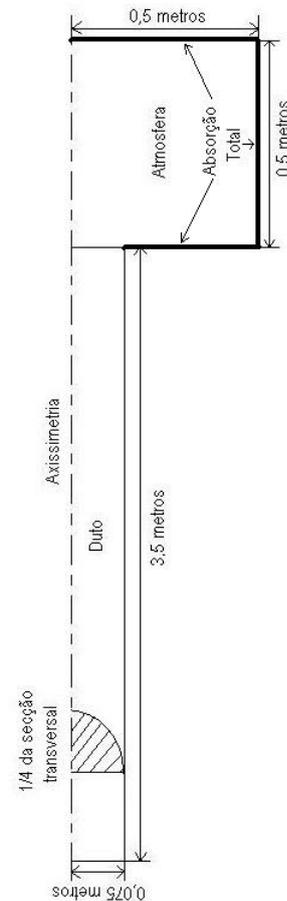


Figura 3: Modelo desenvolvido no ANSYS®.

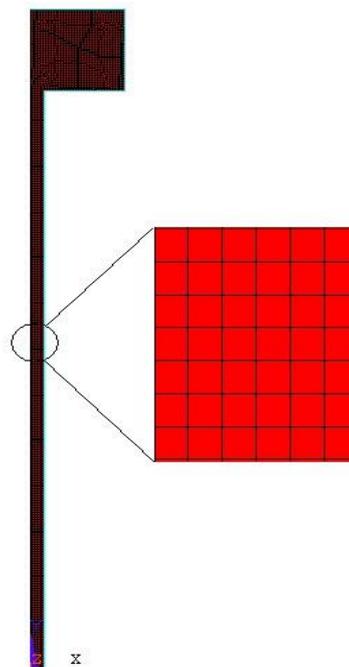


Figura 4: Malha desenvolvida no ANSYS.

Aplicaram-se deslocamentos nulos nas direções X e Y, nos nós das linhas que delimitam o duto.

2.4 Desenvolvimento do modelo experimental

Foi utilizada uma bancada experimental constituída por um duto de PVC instrumentado com alto falantes (atuadores) e microfones (sensores). Os alto falantes utilizados nesta bancada experimental foram da marca *Bravox*[®] modelo BA6SS que possuem uma potência máxima de 60 Watts RMS e resposta em frequência de 50Hz a 20KHz.

Foram projetados e construídos amplificadores e condicionadores de sinais para realizar a interface entre os transdutores e a respectiva plataforma de controle *dSPACE*[®]. Estes circuitos eletrônicos foram baseados no amplificador de áudio TDA2030. Estes amplificadores são circuitos integrados para o uso de amplificadores do tipo AB em baixa frequência. Tipicamente eles garantem 12W de potência de saída em cargas de 4Ω e 8W em 8Ω.

Foram utilizados microfones do tipo eletreto unidirecionais JL-061C amplamente utilizados em telefonia. Estes microfones possuem sensibilidade de $-58\text{dB}/\mu\text{bar}$, com impedância de $2\text{K}\Omega$, faixa de frequências de 20Hz a 20KHz e relação sinal/ruído superior a 55dB. Também foram construídos circuitos eletrônicos para a polarização e o tratamento dos sinais provenientes dos microfones. Nestes circuitos, foram utilizados amplificadores operacionais comuns do tipo TL074. A baixa distorção harmônica e o baixo ruído fazem esta série ideal para aplicações de alta fidelidade em pré-amplificadores de áudio.

Os filtros *antialiasing* e de reconstituição foram projetados para banda de frequência de 500 Hz excluindo o nível DC. O nível DC presente no sinal pode levar a um processo de overflow por ocasião do tratamento dos dados ocasionando instabilidade no sistema. Para eliminar este problema utilizou-se um filtro digital passa alta "notch" com frequência de corte próxima de zero. Na Figura 5 é apresentado o diagrama de montagem da bancada experimental.

O duto, mostrado na Figura 5, possui um comprimento de 3,5m e um diâmetro de

0,15m. O alto-falante de ruído foi posicionado numa das extremidades e o alto-falante de controle posicionado a 2,35m do alto-falante de ruído. Os microfones foram colocados a distâncias de 2,19, 2,21, 2,24, 2,37, 2,56, 2,62, 2,99 e 3,42 metros do alto falante, respectivamente.

Os algoritmos foram implementados no *MATLAB-Simulink*[®] e testados a partir da plataforma de aquisição de dados *dSPACE*[®]. Nesta plataforma foram utilizados 2 canais de conversão analógico digital (A/D), com 16 bits de resolução e *Sample*

and Hold (S/H), para aquisição dos sinais provenientes dos microfones.

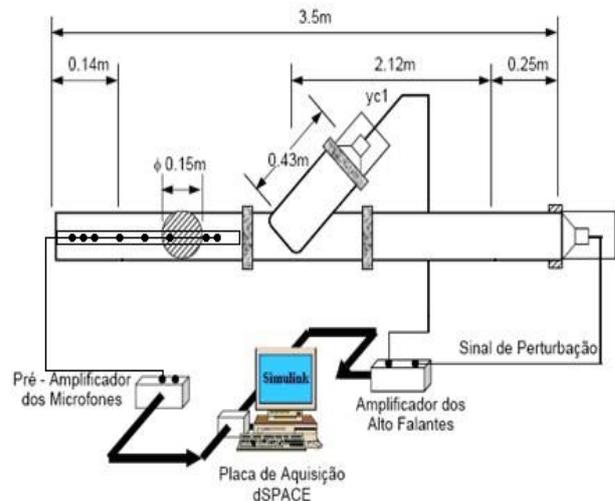


Figura 5: Esquema de montagem da bancada experimental.

A bancada experimental utilizada é mostrada na Figura 6.



Figura 6: Bancada experimental.

2.5 Escolha do sinal de pressão sonora do modelo computacional de simulação

Foi utilizado um alto falante como fonte de pressão sonora na bancada experimental. Contudo, para a modelagem de tal sistema no *ANSYS*[®], era necessária a utilização de um sistema de iteração fluido-estrutura, que simularia uma membrana vibratória no meio fluido (ar).

Devido ao alto custo computacional e complexidade de modelagem de tal sistema, optou-se por utilizar um microfone de referência posicionado em um ponto próximo da amplitude máxima da onda de pressão sonora, e ajustar a pressão de entrada do modelo computacional, até que o valor encontrado na simulação e no experimento fossem equivalentes.

3. Resultados

3.1 Simulação 1: Pressão sonora com frequência de 100 Hz

Para uma onda sonora de 100 Hz propagando no ar, o comprimento de onda é de 3,44 metros, sendo a posição de pico em 0,86 metros e de vale em 2,58 metros.

Para o ajuste do sinal de entrada no programa, utilizou-se um microfone na posição 2,56 metros no duto, sendo este o mais próximo do ponto desejado.

Foi utilizada uma pressão sonora de 75,56 dB na entrada do duto. As curvas de isopressão sonora obtidas estão ilustradas na Figura 7.

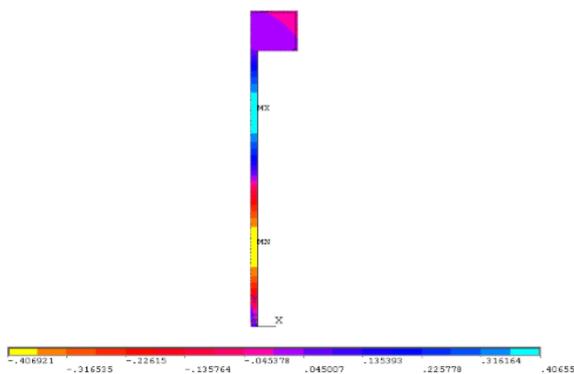


Figura 7: Curvas de isopressão sonora obtidas para o duto na simulação 1.

Na Tabela 1 são comparados os valores de pressão sonora em dB coletados pelos microfones e os obtidos na simulação 1.

Tabela 1: Comparação entre os níveis de pressão sonora para a simulação 1.

Nível de Pressão Sonora [dB]			
Microfone	Experimental	Simulação 1	Erro%
1	82,68	81,36	1,59
2	82,28	81,84	0,54
3	83,20	82,40	0,97
4	82,37	84,29	2,34
5	85,77	85,84	0,09
6	86,06	86,05	0,01
7	82,09	84,86	3,38
8	74,29	73,98	0,41

3.2 Simulação 2: Pressão sonora com frequência de 200 Hz

Para uma onda sonora de 200 Hz propagando no ar, o comprimento de onda é de 1,72 metros, sendo a posição de pico em 2,15 metros e de vale em 3,01 metros.

Para o ajuste do sinal de entrada no programa, utilizou-se um microfone na posição 2,99 metros no duto, sendo este o mais próximo do ponto desejado.

Foi utilizada uma pressão sonora de 77,50 dB na entrada do duto. As curvas de isopressão sonora obtidas estão ilustradas na Figura 8

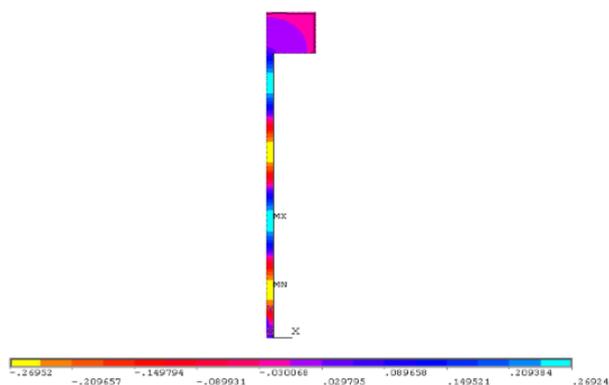


Figura 8: Curvas de isopressão sonora obtidas para o duto na simulação 2.

Na Tabela 2 são comparados os valores de pressão sonora em dB coletados pelos microfones e os obtidos na simulação 2.

Tabela 2: Comparação entre os níveis de pressão sonora para a simulação 2.

Nível de Pressão Sonora [dB]			
Microfone	Experimental	Simulação 2	Erro%
1	85,30	82,08	3,78
2	84,61	82,25	2,80
3	85,25	82,44	3,29
4	81,83	82,14	0,38
5	77,93	76,78	1,47
6	73,03	72,87	0,21
7	81,39	81,40	0,01
8	78,08	76,26	2,34

3.3 Simulação 3: Pressão sonora com frequência de 400 Hz

Para uma onda sonora de 400 Hz propagando no ar, o comprimento de onda é de 1,72 metros, sendo a posição de pico em 2,365 metros e de vale em 2,795 e 3,225 metros.

Para o ajuste do sinal de entrada do programa, utilizou-se um microfone posição 2,99 metros no duto, sendo este o mais próximo do ponto desejado.

Foi utilizada uma pressão sonora de 73,76 dB na entrada do duto. As curvas de isopressão sonora obtidas estão ilustradas na Figura 9.

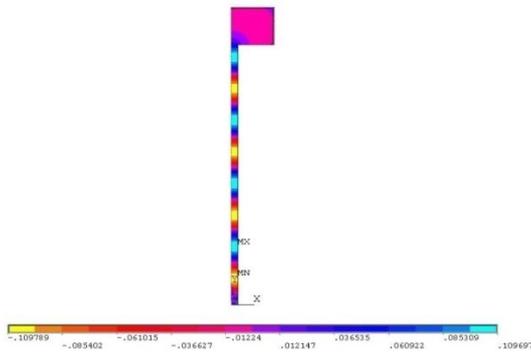


Figura 9: Curvas de isopressão sonora obtidas para o duto na simulação 3.

Na Tabela 3, são comparados os valores de pressão sonora em decibéis coletados pelos microfones e os obtidos pelo ANSYS.

Tabela 3: Comparação entre os níveis de pressão sonora para a simulação 3.

Nível de Pressão Sonora [dB]			
Microfone	Experimental	Simulação 3	Erro%
1	71,36	69,90	2,06
2	68,28	68,38	0,15
3	64,58	62,38	3,41
4	71,26	70,78	0,67
5	73,36	73,33	0,04
6	69,23	69,54	0,45
7	72,29	73,21	1,27
8	73,85	73,06	1,06

Pela análise da Tabelas 1, 2 e 3, observa-se que os valores máximos ocorreram para os microfones 6, 1 e 8, localizados nas posições 2,62, 2,19 e 3,42 metros respectivamente.

Para as simulações 1 e 2, estes pontos de máximo são bem próximos dos locais previstos teoricamente (2,58 e 2,15 metros, respectivamente). Para a simulação 3 tal comportamento não foi observado. Tais diferenças se dão ao fato da onda estar propagando dentro de um duto, não obedecendo exatamente ao comportamento esperado em campo livre.

O fator de maior relevância está na comparação entre os valores de pressão sonora identificados pelo procedimento experimental e computacional, cuja a diferença não excede 4% em todas as simulações.

4. Conclusões

Para se obter uma simulação confiável, é necessária uma adequada escolha de parâmetros no programa de simulação (tipo de análise, elemento a ser utilizado, tipo de malha, etc.) além de uma correta modelagem do sistema.

Não é correto embasar-se no modelo de propagação de som em campo livre para o cálculo dos níveis de pressão sonora em dutos, uma vez que não se conhece o fenômeno de propagação dentro do duto.

A metodologia de ajuste utilizada para estimar o sinal de pressão sonora de entrada do programa de simulação foi satisfatória, uma vez que, comparando os valores coletados pelos microfones e o estimados nas simulações, a diferença não excedeu 4%.

O modelo desenvolvido para as simulações computacionais atendeu às expectativas, uma vez que foi possível identificar os níveis de pressão sonora com um erro inferior a 4%, comparado ao valor experimental.

Referências

[1] BERANEK L. L. and VER I. L., **Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications**, New York: Wiley, 1992.

[2] ESPÍNDOLA, J.J. e LOPES, E.M.O., Caracterização de Materiais Elastoméricos para o Controle de Vibrações e Ruídos Acústicos, **II Simpósio Brasileiro Sobre Sistemas Dinâmicos da Mecânica – DINAME** - Campos do Jordão – SP, 1998.

- [3] GERGES, S. N. Y., 2000, **Ruído, Fundamentos e Controle**. Florianópolis – SC.
- [4] HANSEN C. H. and SNYDER S. D., **Active Control of Noise and Vibration**, London, U.K.: E&FN Spon, 1997. HARRIS C. M., **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [5] KUO S. M. and MORGAN D.R., Active Noise Control: A Tutorial Review, in **Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst.**, pp. 943–973, 1999.
- [6] NELSON, P. A. e ELLIOTT, S. J., **Active Control of Sound**, San Diego, CA: Academic, 1992.
- [7] NUÑEZ, I. J. C., 2005, **O controle ativo de ruído em dutos: um estudo teórico – experimental**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.
- [8] KERÄNEN, J.; HONGISTO, V.: Comparison of Simple Room Acoustic Models Used for Industrial Spaces. **Acta Acustica united with Acustica**, Vol. 96, Number 1, pp. 179-194, January/February 2010.
- [9] SLAMA, J. G.; KORTCHMAR, L.: Exposição ao Ruído em Ambientes de Trabalho: Panorama Internacional. In: **1º Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações, XVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**. Petrópolis RJ. p. 191-194, 1996.
- [10] SVENSSON, P.: **The Early History of Ray Tracing in Room Acoustics**. Edited by Peter Svensson Trondheim, June 2008.
- [11] KROEFF, G.; PAVANELLO, L.; MEDEIROS, E. B.: Preliminary Modeling Of Acoustic Emission In An Urban Substation. In: **Congresso Ibero-Latino Americano de Métodos Computacionais para Engenharia**. Brasília, 1997.
- [12] NUNES, M. A. A.; Duarte, M. A. V.: Identification of Noise Sources Using Genetic Algorithm. In: **Internoise 2005**, Rio de Janeiro, 2005.

Igreja de São Miguel Arcanjo das Missões Jesuíticas: Influência das Posições do Coro nos Parâmetros Acústicos

PIRES, J.R.¹; CHAVES, N.P.¹; NUNES, M.F.O.¹; PATRÍCIO, J.V.²

¹Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil - itt Performance, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil, josianerp@unisinos.br; npchaves@unisinos.br; mariaon@unisinos.br

²Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, Portugal, jpatricio@Inec.pt

Resumo

Nas últimas décadas a valorização do patrimônio cultural tem refletido a crescente preocupação com a conservação de valores históricos. No entanto, nem sempre as características acústicas têm sido consideradas como um dos valores a serem resgatados e, nesse contexto, as igrejas e catedrais podem ser interpretados como importantes símbolos dos valores de determinada época. A Redução de São Miguel Arcanjo integra um conjunto de ruínas dos Sete Povos das Missões, uma das principais marcas das missões Jesuíticas e do Barroco Europeu da Península Ibérica integrado à cultura indígena do sul do Brasil. Atualmente em ruínas, a recuperação das estruturas iniciou em 1925, sendo declarado patrimônio Mundial pela UNESCO em 1983. O objetivo desse trabalho é realizar a reconstrução acústica da igreja de São Miguel Arcanjo através de simulação computacional. A implementação do modelo 3D foi realizada considerando-se a organização litúrgica relatada em registros históricos. Utilizou-se o software CATT-Acoustic v9.0c e analisou-se comparativamente quatro diferentes hipóteses de posicionamento do coro e as respectivas alterações nos parâmetros EDT, D50, C80 e STI. Os resultados dos parâmetros indicam que a qualidade na comunicação verbal é melhor nos espaços destinados às autoridades civis, na nave central próximo ao altar. Ficou evidenciado na análise comparativa dos parâmetros acústicos das quatro hipóteses de posicionamento de coro, a hierarquia social utilizada para a ocupação das naves central e laterais o que também corresponde a diferentes níveis de percepção sonora.

Palavras-chave: Acústica arquitetônica. Reconstrução acústica. Igreja de São Miguel das Missões.

1. Introdução

As igrejas barrocas no Brasil constituem importantes valores culturais, que marcam a história do barroco-rococó trazido de Portugal e implantado na construção de igrejas que incorporaram algumas adaptações regionais (CARVALHO; ROLLA, 2008).

O programa evangelizador dos jesuítas na América do Sul incluiu a implantação de locais denominados Reduções Jesuíticas, compostos por espaços de moradias, de lazer e para o culto religioso, seguindo as tradições católicas europeias da época. A Igreja de São Miguel Arcanjo compunha uma das Reduções Jesuíticas na América do Sul, localizada no sul do Brasil, quando o território ainda era de domínio espanhol. Após diversas guerras e conseqüentes alterações de limites territoriais, a Redução de São Miguel passa a fazer parte do território brasileiro no início do século XIX (Figura 1) (CORONEL, 2000).

Figura 1: Alterações nos limites do sul do Brasil.



As Reduções Jesuíticas constituíam um espaço doutrinário de caráter sedentário, ou seja, aldeamentos onde os índios eram conduzidos aos bons costumes e à fé cristã. A Redução de São Miguel Arcanjo integra um conjunto de ruínas dos Sete Povos das Missões, uma das principais marcas das Missões Jesuíticas e do barroco europeu da Península Ibérica integrado à cultura indígena do sul do Brasil.

Atualmente em ruínas, a Igreja de São Miguel Arcanjo era composta por três naves separadas entre si por uma sequência de sete arcos. O teto, em madeira, era em forma de abóbada com vigamentos aparentes, e o transepto era coberto por uma cúpula, sobre a qual existia um telhado de seis águas. Seus onze altares, um na capela-mor, quatro no cruzeiro e seis nas naves laterais, eram ornamentados com talha dourada e policromada, estatuária e pinturas (Figura 2) (COSTA, 1941).

Figura 2: Igreja de São Miguel das Missões: vista externa e interna das ruínas.



Fonte: CORONEL, 2000.

A aldeia de São Miguel Arcanjo tornou-se ao longo dos anos a mais importante e populosa dos Sete Povos das Missões, chegando a ter quase sete mil pessoas. Contudo, atingido seu apogeu, as disputas entre Portugal, Espanha e as próprias Missões Jesuíticas, culminaram na Guerra Guaranítica, e a aldeia de São Miguel foi incendiada e despovoada em 1756 (MEIRA, 2008).

Após as guerras, a aldeia foi repovoada, e a igreja, após ter sua cobertura danificada por um incêndio, foi sumariamente restaurada, mas sem seguir os critérios de recuperação das características originais. Sendo assim, a cúpula, anteriormente de madeira, foi reerguida com tijolos e cal.

Um novo incêndio, ocasionado por um raio, ocorreu em 1789, sendo que, após a guerra ibérica por disputa de território, e a conquista da zona pelos portugueses, a igreja foi definitivamente abandonada. Outro raio a atingiu em 1886 e o telhado e a galilé desabaram (RODRIGUES, 2013). Muitas das pedras da Igreja foram removidas para serem utilizadas como material de construção e no início do século XIX a igreja foi completamente saqueada e o povoado abandonado. A recuperação das estruturas começou em 1925 e a igreja foi declarada patrimônio Mundial pela UNESCO em 1983 (MACHADO, 2007; MEIRA, 2008).

A Igreja de São Miguel Arcanjo, obra do padre João Batista Primoli, foi traçada em estilo

Barroco, com inspiração atribuída à Igreja de Gesù em Roma, e erguida em pedra arenito. Originalmente a Igreja era pintada de branco, utilizando-se a tabatinga, um barro esbranquiçado existente na região, e internamente era rica em ornamentos.

Em relação aos usos da Igreja de São Miguel Arcanjo, podem-se traçar algumas relações com os demais exemplares que correspondem ao mesmo período, pois a arquitetura da igreja cristã transformou seu *layout* conforme a forma e o uso do seu espaço de culto, concebido não apenas para o culto propriamente dito, mas também como lugar de memória, celebração e representação (HENRIQUE, 2007). Ao longo do tempo, os templos passaram por intervenções efêmeras (tapetes, cortinas, stands, etc.), principalmente nos dois séculos do Barroco (séculos XVII e XVIII). Nestas ocasiões, a absorção sonora, que pode ser determinada recorrendo ao Tempo de Reverberação (TR), aumentou significativamente nas igrejas e catedrais, contando ainda com a contribuição da presença de grande número de fiéis.

No entanto, a complexidade volumétrica e as variações da geometria interna que ocorreram ao longo da história impulsionadas por importantes avanços nos sistemas estruturais, trouxeram como consequências a falta de uniformidade na distribuição do som nos diferentes espaços ocupados pela congregação (CIRILLO; MARTELLOTTE, 2007).

Desta forma, as diferenças no TR são decorrentes do estilo arquitetônico da época, sendo que uma redução do TR foi constatada na época do barroco, devido ao aumento da ornamentação interna, com adornos em madeira entalhada e capelas laterais ricas em detalhes decorativos. Além desses fatores, o volume das igrejas construídas neste estilo foi reduzido, com a diminuição do pé direito e o encurtamento da nave (HENRIQUE, 2007).

Nessa época também ocorrem significativas alterações na música e nos gêneros musicais praticados nas igrejas, que contavam com a elevada reverberação interna para maior realismo e caráter original nos cultos.

O barroco nas missões jesuíticas teve um importante papel de atrair os índios guaranis para a fé e práticas cristãs, sendo por isso, identificadas algumas adaptações regionais não somente nos ornamentos, mas também nas organizações litúrgicas.

Todas essas alterações também acarretaram variações no posicionamento da fonte sonora (materializada no uso da palavra ou cânticos), o que torna o estudo de espaços em ruínas

bastante complexo. Além disso, a dificuldade em se encontrar dados específicos a respeito da suas características levaram a simplificações do processo para viabilizar estudos exploratórios.

Este estudo foi desenvolvido entre instituições do Brasil (Universidade Jesuíta Unisinos) e de Portugal (Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC). Realizou-se a reconstrução acústica da Igreja de São Miguel Arcanjo, com análises comparativas de diferentes hipóteses de posicionamento do coro e as respectivas alterações nos parâmetros EDT, D50, C80 e STI.

2. Método

O comportamento acústico do interior da Igreja de São Miguel Arcanjo foi realizado com *software*CATT- Acoustic v9.0c, para o cálculo de descritores acústicos, em bandas de oitava. Para a implementação do modelo simplificado em 3D foram consideradas as fontes sonoras pertinentes, os receptores e a geometria da sala. As superfícies planas desse modelo foram caracterizadas por sua capacidade de absorver e dispersar a energia do som incidente, tendo como dados característicos os coeficientes de absorção e de espalhamento.

O coeficiente de espalhamento é dominante nas altas frequências, exceto para superfícies maiores que 10 m de extensão. Segundo Vorländer (2008), detalhes com dimensões inferiores a 0,5 m são mais relevantes para estudos que incluem faixas de frequência com comprimento de onda de até 5 cm. Desta forma,

forma de utilização do espaço e de algumas das

as razões para se escolher uma faixa de frequências mais baixa seriam o conteúdo espectral predominante de fontes naturais acima de 7 kHz.

Conforme mencionado, a Igreja de São Miguel da Missões passou por significativas alterações em seu interior. Para este estudo, foram adotadas as considerações registradas por Meira (2008), Machado (2007) e Rodrigues (2013), que indicam que, antes da missa, as crianças cantavam no átrio em filas separadas por gênero, e depois entravam na igreja pelas portas principais. A nave central era ocupada pelas autoridades civis e atrás ficavam os rapazes e, aproximadamente dois metros atrás tanto na nave central com nas naves laterais, postavam-se as mulheres.

Os locais de posicionamento do coro considerados foram: no altar como um coro de orações, no altar como um coral, no mezanino e no átrio na porta de entrada principal, conforme a seguir (Figura 3).

Os coeficientes de absorção “ α ” e de espalhamento “s” utilizados neste estudo são expostos na Tabela 1. **Figura 1:** Modelo da simulação dos parâmetros acústicos na Igreja: Posição A – sacerdote e demais assistentes no altar principal durante a missa em atividade de fala; Posição B – coral no altar principal em atividade de canto; Posição C – coral no mezanino acima da entrada; e Posição D – crianças no átrio em filas.

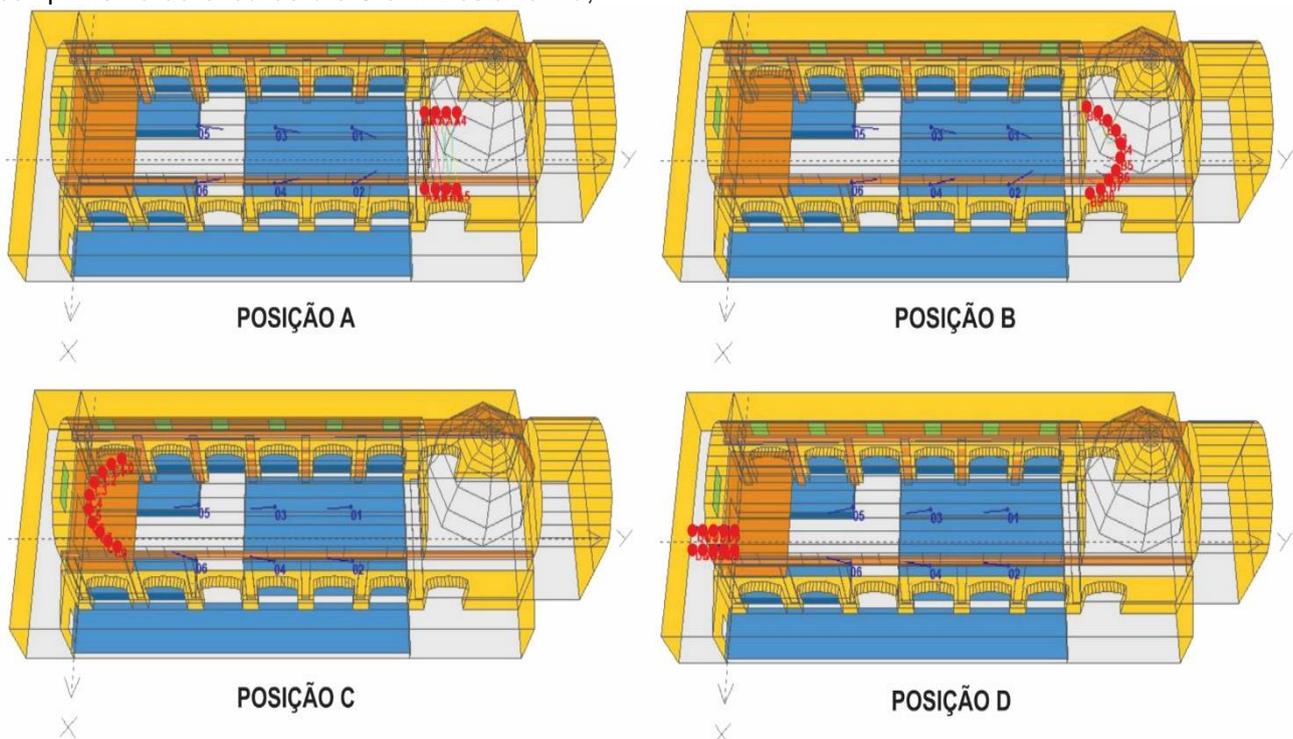


Tabela 1: Coeficientes de absorção “ α ” e de espalhamento “s”, por bandas de frequências.

Superfícies e Coeficientes		Bandas de frequência (Hz)						
		125	250	500	1k	2k	4k	
	Audiência superfície superior	α	50	60	70	80	80	80
		s	50	55	60	65	70	75
	Audiência superfície lateral	α	50	60	70	80	80	80
		s	50	55	60	65	70	75
	Madeira da cobertura	α	18	12	10	8	7	7
		s	30	40	50	60	70	80
	Argamassa área > 10m ²	α	6	6	6	8	9	10
		s	12	13	14	15	16	17
	Argamassa área < 10m ²	α	6	6	6	8	9	10
		s	20	24	26	32	36	40
	Madeira das janelas	α	20	15	10	8	7	7
		s	20	25	30	35	40	45
	Argamassa do piso	α	1	3	5	2	2	2
		s	12	26	39	53	66	80

Os coeficientes de espalhamento são definidos a partir de uma relação entre a área e a rugosidade da superfície exposta. Como um procedimento comum na simulação das catedrais, para as superfícies lisas e pouco decoradas, são atribuídos coeficientes de espalhamento que variam de 0,12, na banda de 125 Hz, até 0,17, na banda de 4 kHz, que incluem um aumento linear de 0,01 por banda de oitava. Para as superfícies decorativas são atribuídos coeficientes mais elevados, que variam linearmente de 0,20, na banda de 125 Hz, a 0,40, na banda de 4 kHz. Para demais elementos como, por exemplo, grandes esculturas e abóbadas são atribuídos valores entre 0,30, na banda de 125 Hz, até 0,80, na banda de 4 kHz. (ÁLVAREZ-MORALES *et al.*, 2014; VORLÄNDER, 2008)

As alturas definidas para este estudo foram de 1,20 m para os ouvintes, 1,70 m para os emissores adultos e 1,0 m para os emissores infantis.

Para as análises comparativas foram utilizados os seguintes parâmetros:

- C80: é uma relação entre a clareza percebida do som e a reverberação do ambiente. Esse parâmetro é especialmente indicado para análises de ambientes destinados à audição de música. (BARRON, 2010)
- STI: é um parâmetro utilizado para caracterizar a percepção da palavra e representa o quanto de distorção um som pode ter em um determinado ambiente, sendo indicado para definir a capacidade de compreensão de mensagens de voz. Os valores variam de 0 a 1, sendo que 1 define a inteligibilidade ideal. (PATRÍCIO, 2010)
- D50: é um parâmetro baseado na característica da audição para as reflexões que atinjam o receptor até 50 ms, depois da incidência do som direto. Essas reflexões são consideradas positivas e interpretadas como um suporte ao som direto. Esse parâmetro está diretamente correlacionado com a

- inteligibilidade da fala. (BARRON, 2010; CARVALHO; ROLLA, 2008)
- EDT: é a percepção subjetiva da reverberação e apresenta maior relação como decaimento inicial do que como restante do campo reverberante e está vinculado à percepção subjetiva de como o sinal transmitido parece ser transformado pela reverberação do ambiente (CARVALHO; ROLLA, 2008; PATRÍCIO, 2010).

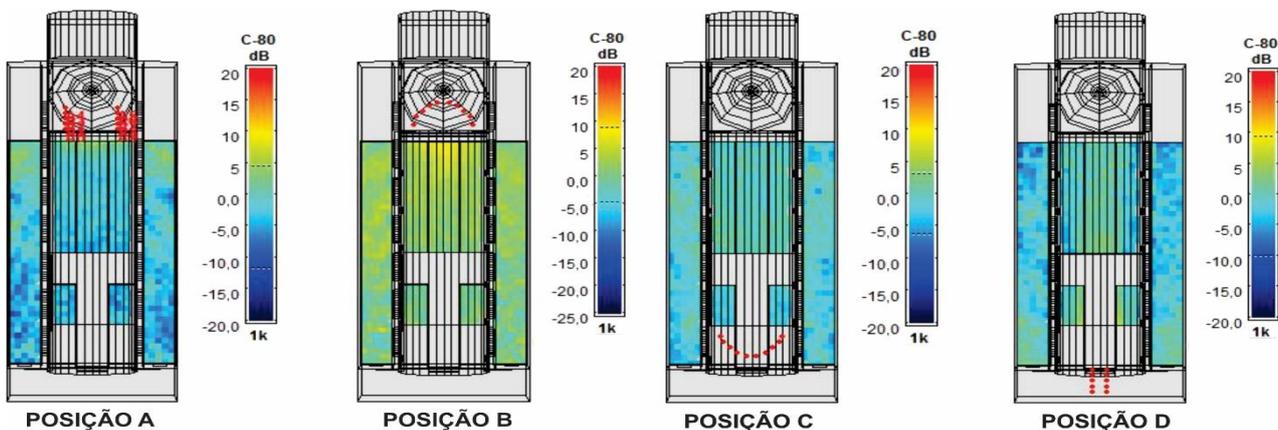
3. Resultados e Discussões

As Figuras 4 e 5 apresentam o mapeamento dos parâmetros C80 e STI a 1 kHz para as quatro

posições do coro. O parâmetro C80, que caracteriza os espaços com atividades musicais, apresentou faixas amplas de variação com valores entre 9 dB e -9 dB para o posicionamento das fontes sonoras na porta de entrada principal (Posição D) e de 5 dB a -6 dB para o posicionamento do coro no mezanino (Posição C), também localizado na entrada da Igreja.

Em relação ao parâmetro C80, as posições com os menores valores positivos, correspondem a uma distribuição decorrente da emissão sonora na direção do eixo longitudinal da Igreja de São Miguel Arcanjo. Nas áreas com visibilidade limitada, nas naves laterais, são encontrados os menores valores de C80 (Figura 4).

Figura 4: Simulação de C80 a 1 kHz para as quatro posições do coro.

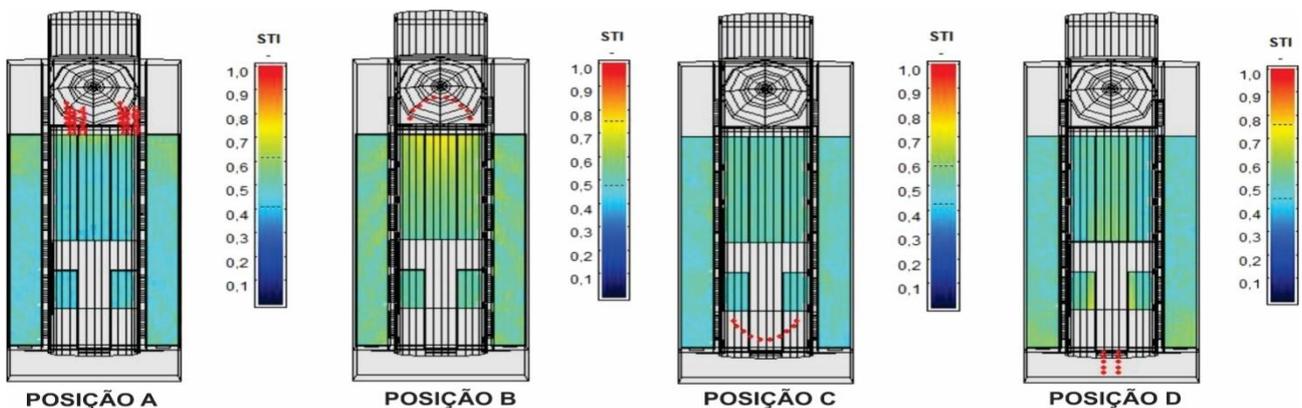


O índice STI, que caracteriza a percepção da palavra e indica se um determinado som será entendido com o mínimo de distorção possível, também apresentou maior distinção o posicionamento do coro no mezanino (Figura 5).

Os resultados de STI apresentaram maior relação com a influência das superfícies de reflexão e o direcionamento do som. Sendo que, com o coro

localizado no mezanino (Posição C), a possibilidade de distorção das informações verbais é maior. Em nenhuma das hipóteses de localização do coro o STI alcança valores que possam caracterizar uma elevada qualidade na inteligibilidade, sendo os melhores valores estimados para a posição do coro no altar principal, para as primeiras fileiras (Posição B).

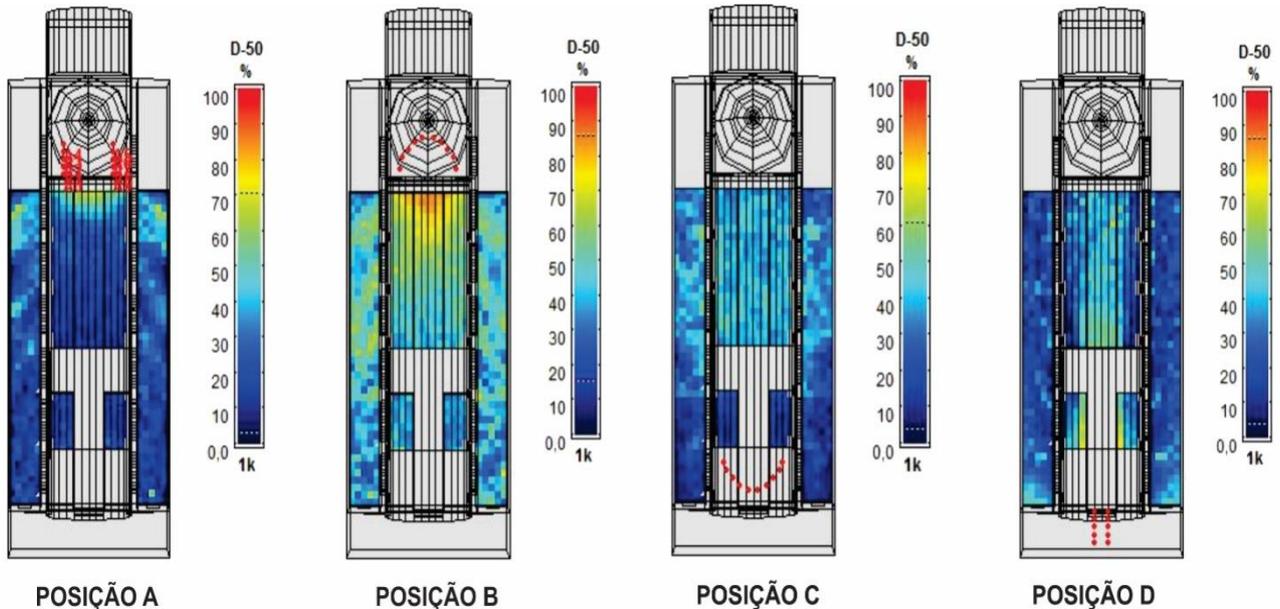
Figura 2: Simulação de STI para as quatro posições do coro.



O parâmetro D50, diretamente correlacionado com inteligibilidade da fala, é mais adequado para a localização do coro no altar principal, nas primeiras fileiras, destinadas às autoridades

(Posição B). No entanto, a definição sonora indicada por esse parâmetro é evidenciada nas últimas fileiras na situação de entrada das crianças (Posição D), conforme a Figura 6.

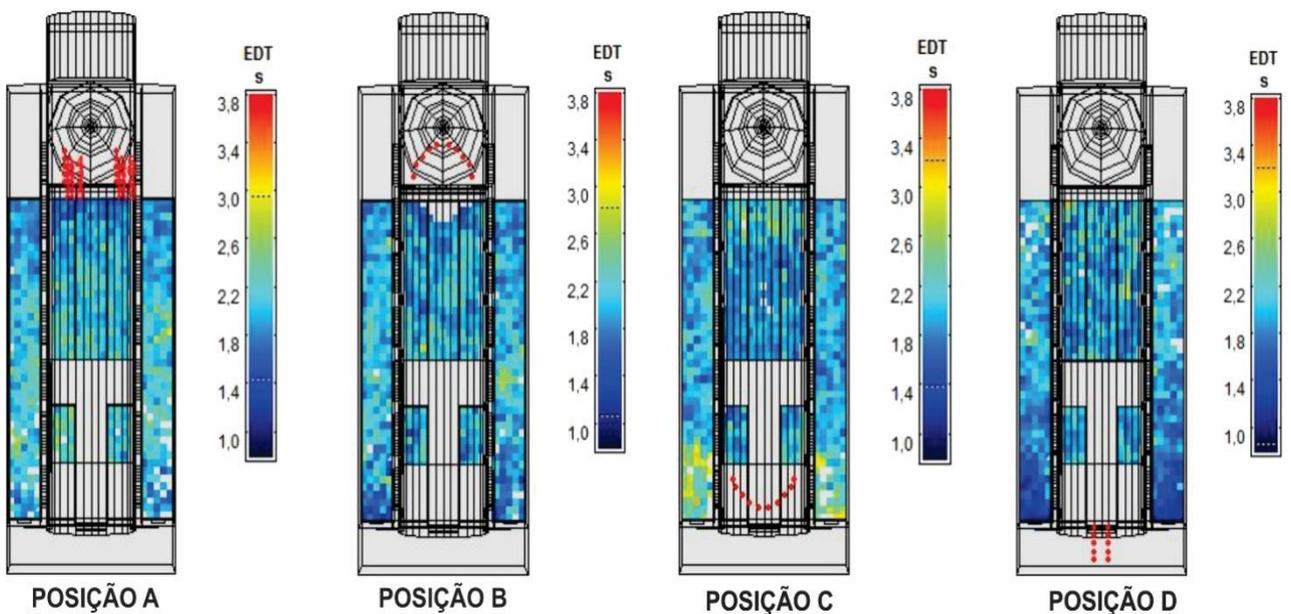
Figura 6: Simulação de D50 a 1 kHz para as quatro posições do coro.



O parâmetro EDT tem uma forte correlação com a sensação subjetiva da reverberação e é usado como o principal descritor da reverberação em espaços litúrgicos. Nas análises na banda de frequências de 1 kHz há o aumento na faixa de

variação do EDT para o coro localizado no mezanino (Posição C) em relação às outras hipóteses de posicionamento do coro assumidas para este estudo (Figura 7).

Figura 7: Simulação de EDT a 1 kHz para as quatro posições do coro.



Comparando-se os resultados da Posição A, o parâmetro C80 apresenta maior clareza, tanto na nave central quanto nas naves laterais, próximo ao altar. Contudo, o STI, assim como o D50, é maior nas naves laterais e na área das autoridades em frente ao altar que na nave central. Nesta posição de coro, o EDT concentra-se ao final do recinto, na área ocupada pelas mulheres. A Posição A se refere ao ato litúrgico, na época realizado em latim, e nas primeiras fileiras localizavam-se as autoridades que compreendiam o latim. A simulação indica que os valores obtidos de definição, clareza e inteligibilidade da fala são aceitáveis, mas não ideais, para o uso.

Assim como na Posição A, a clareza do som apresenta-se uniforme na Posição B, e as naves laterais apresentam redução da clareza, quando comparadas à nave central. A Posição B também apresenta maior definição do som, principalmente nas primeiras fileiras de ouvintes da nave central.

Já a Posição C é caracterizada pela fonte estar localizada no mezanino. Possivelmente, este fato esclarece os valores reduzidos de definição, clareza e inteligibilidade quando comparado às demais posições. O aumento da percepção da reverberação nesta posição pode ser considerado adequado,

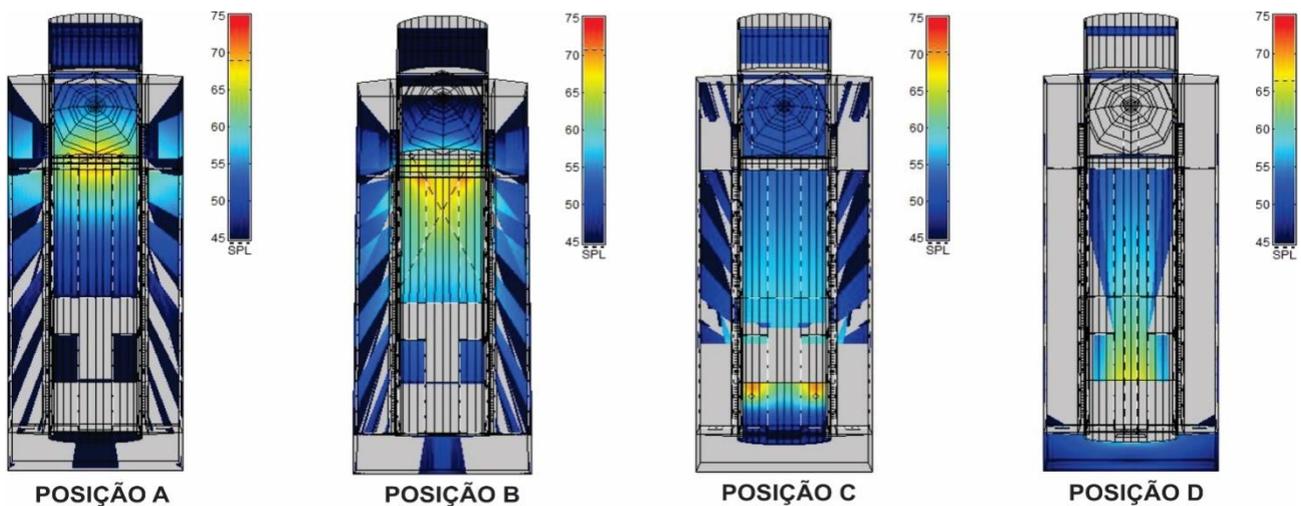
devido a sua importância para as atividades musicais.

O local destinado à ocupação das mulheres, espaço sobreposto pelo mezanino, apresentou melhores indicativos de qualidade acústica, para a posição do coro, na porta principal da Igreja.

Para as posições do coral, a clareza, inteligibilidade e definição do som são maiores quanto mais perto da fonte sonora está localizado o ouvinte. As áreas onde estariam localizadas as mulheres apresentam menor inteligibilidade do som e nos demais quesitos, clareza e definição, tanto esta área quanto a dos homens possuem valores semelhantes.

Na **Error! Reference source not found.** observa-se o sombreamento acústico nas quatro posições de coro analisadas. O sombreamento está estritamente ligado aos arcos que separam a nave central das naves laterais. Apenas na Posição D, caracterizado como coro infantil adentrando à Igreja, apresenta o maior sombreamento dentre as posições analisadas, provavelmente devido à baixa altura média da fonte sonora (1,00 m) e à altura média dos ouvintes (1,70 m).

Figura 8: Simulação do sombreamento para as quatro posições do coro.



Uma análise qualitativa da percepção das reflexões do som também pode ser efetuada com base em séries temporais, para o som em campo direto e três ordens de reflexão.

As ordens de reflexão são resultado dos raios independentes para cada banda de oitava considerada. Essa reflexão depende da capacidade de reflexão difusa e da magnitude dos coeficientes de espalhamento de cada superfície.

Nas Figuras 13 a 16 pode-se analisar o tempo necessário, em milissegundos (ms), para as

reflexões da primeira a terceira ordem de um impulso sonoro a 1 kHz, atingirem três pontos de recepção na nave principal (Figura 9).

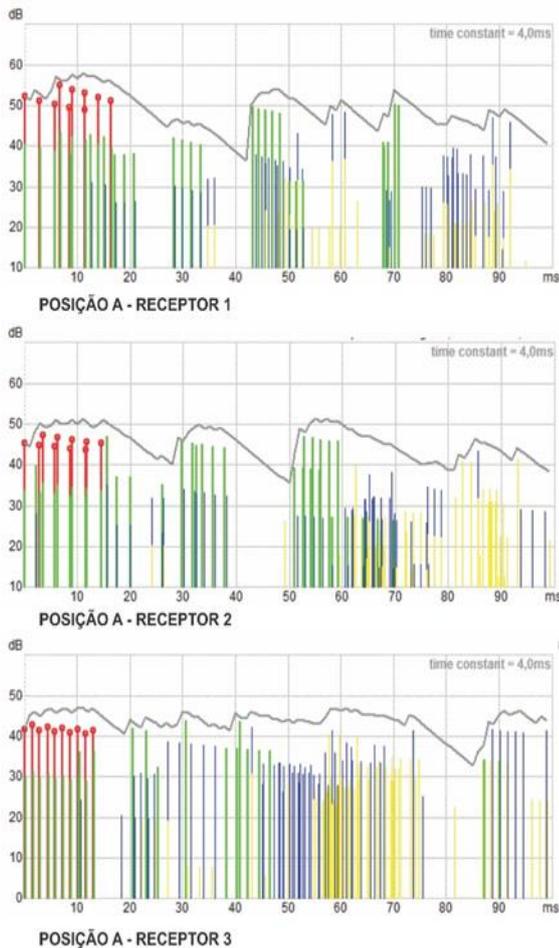
Figura 9: Pontos na nave central para estimativas temporais das reflexões.



Nesses gráficos o som direto está representado na cor vermelha, e nas cores verde, azul e amarela são,

respectivamente representações das reflexões de primeira, segunda e terceira ordens.

Figura 10: Série temporal das reflexões para a Posição A.



Para a posição do coro no altar, pode-se verificar uma estimativa de decaimento gradual das reflexões nos três pontos da nave central.

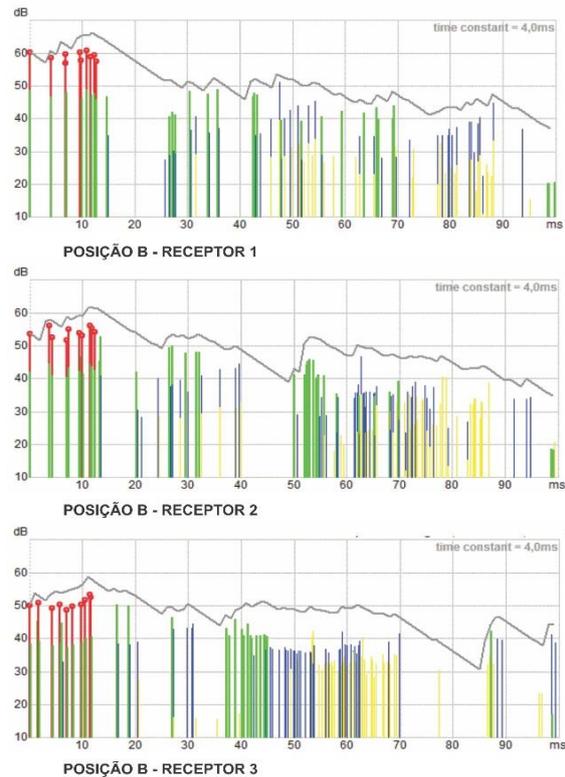
Na Posição C, as reflexões de segunda e terceira ordens são percebidas com um intervalo de tempo maior em relação ao som em campo direto (Figura 12).

Para a posição do coro de crianças, o tempo de incidência das reflexões até segunda ordem seria menor. No entanto, o atraso no tempo de das reflexões de terceira ordem ultrapassaria 50 ms no ponto 2 e seria maior que 80 ms no ponto 3 da nave central (Figura 13).

Para as posições do coro do lado oposto ao altar, estima-se que as reflexões na nave central da Igreja de São Miguel Arcanjo apresentem maiores diferenças entre os pontos de recepção sonora na nave central.

Na Posição C, as reflexões de segunda e terceira ordens são percebidas com um intervalo de tempo maior em relação ao som em campo direto (Figura 12).

Figura 11: Série temporal das reflexões para a Posição B.



Para a posição do coro de crianças, o tempo de incidência das reflexões até segunda ordem seria menor. No entanto, o atraso no tempo de das reflexões de terceira ordem ultrapassaria 50 ms no ponto 2 e seria maior que 80 ms no ponto 3 da nave central (Figura 13).

Figura 12: Série temporal das reflexões para a Posição C.

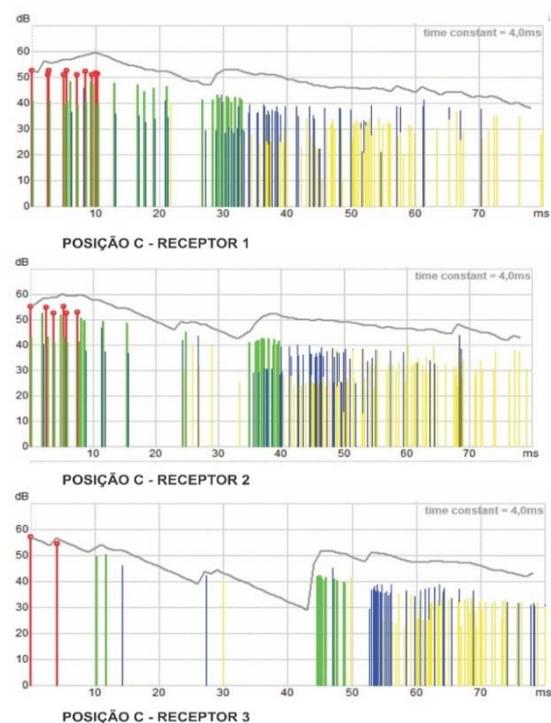
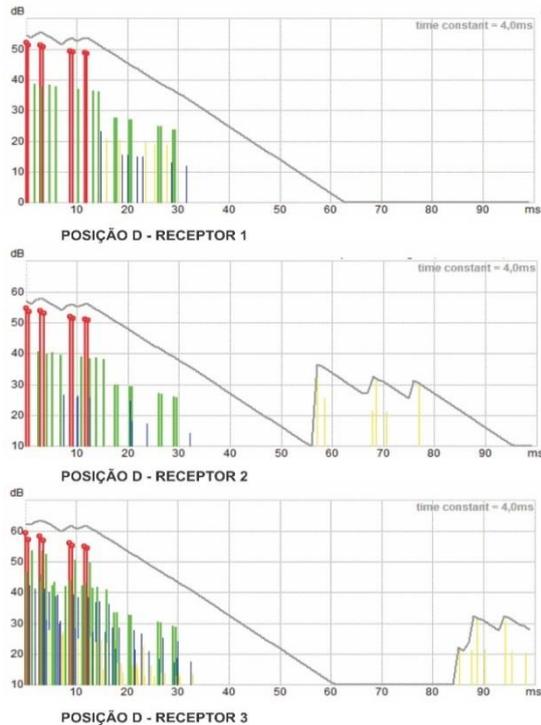


Figura 13: Série temporal das reflexões para a Posição D.



4. Considerações Finais

A Igreja de São Miguel Arcanjo possui grande valor cultural, sendo o mais bem preservado conjunto missionário do Sul do Brasil, e reconhecido como Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade pela UNESCO. Neste trabalho, buscou-se ampliar contexto de valorização do patrimônio cultural da Igreja, através da reconstrução de seu ambiente acústico.

Em função do estado atual de ruína da Igreja de São Miguel Arcanjo, além das significativas alterações formais e nos revestimentos internos, especialmente na cobertura, as análises possíveis são realizadas com base em simulações e estimativas fundamentadas em registros históricos.

No período barroco, as necessidades acústicas da igreja cristã eram diversas às atuais necessidades. O entendimento literal da palavra era praticamente desnecessário, salvo às primeiras fileiras de ouvintes. Já a dramaticidade e teatralidade nesses recintos eram mais valorizadas.

A Igreja apresentava baixa inteligibilidade, clareza e definição do som falado ou musical nas áreas destinadas às mulheres e aos homens de baixa hierarquia social. Contudo, apresenta uma adequada percepção sonora nas áreas onde os ouvintes eram autoridades civis. O posicionamento do coro que melhor atendeu os critérios de qualidade acústica para o uso da palavra foi no altar, tanto como coro quanto como espaço litúrgico,

sabendo-se que este espaço é de maior hierarquia nos cultos católicos e o mais utilizado dentro da Igreja como espaço de posicionamento de emissores sonoros.

Na análise comparativa dos parâmetros acústicos para quatro diferentes hipóteses de posicionamento do coro da Igreja de São Miguel Arcanjo ficou evidenciado que a hierarquia social utilizada para a ocupação das naves central e laterais também corresponde a diferentes níveis de percepção sonora. Nos espaços destinados às autoridades civis, na nave central próximo ao altar, os parâmetros que indicam a qualidade na comunicação verbal são melhores, pois nesses casos o coro estaria posicionado no altar principal. Para as hipóteses de posicionamento do coro mais relacionado às atividades musicais, no mezanino a na porta principal, é estimado que o local destinado às mulheres apresenta maior qualidade acústica para a percepção do som.

Devido à pouca informação encontrada em registros históricos, aos estudos realizados sobre a forma de uso da igreja e às conseqüentes alterações ao longo dos anos, novos estudos sobre a reconstituição acústica poderão ser desenvolvidos. Como, por exemplo, sobre o contexto histórico, e sobre outros posicionamentos do coro, utilização de instrumentos musicais, efeitos de ocupação, adição de mobiliário e variação nos materiais de revestimento, que poderão ser utilizados em futuras simulações.

Referências Bibliográficas

- [1] ÁLVAREZ-MORALES, L. et al. A methodology for the study of the acoustic environment of Catholic cathedrals: Application to the Cathedral of Malaga. **Building and Environment**, v. 72, p. 102–115, 2014.
- [2] BARRON, M. **Auditorium acoustics and architectural design**. New York: Spon Press, 2010.
- [3] CARVALHO, M.; ROLLA, S. Acústica de igrejas barrocas, arquitetura que faz a diferença. Proceedings. **Anais...** Buenos Aires: Federação Iberoamericana de Acústica - FIA, 2008.
- [4] CIRILLO, E.; MARTELLOTTE, F. Acoustics and Architecture in Italian Catholic Churches. Proceedings. **Anais...** Seville: International Commission for Acoustics, 2007.
- [5] CORONEL, L. **O Legado das Missões**. São Miguel das Missões: Prefeitura de São Miguel das Missões, 2000.
- [6] COSTA, L. Arquitetura dos Jesuítas no Brasil. **Revista do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**, n. 5, p. 105–169, 1941.
- [7] HENRIQUE, L. L. **Acústica musical**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.

[8] MACHADO, J. R. Povoado missioneiro: cenografia do Barroco a igreja o teatro e a vida. 2007. PUC RS, 2007.

[9] MEIRA, A. L. G. O patrimônio histórico e artístico nacional no Rio Grande do Sul no século XX: atribuição de valores e critérios de intervenção. 2008. 483 f. UFRGS, 2008.

[10] PATRÍCIO, J. V. **Acústica nos edifícios**. Lisboa: Verlag Dashöfer, 2010.

[11] RODRIGUES, P. N. Caracterização das argamassas históricas da ruína de São Miguel Arcanjo/RS. 2013. 142 f. UFSM, 2013.

[12] VORLÄNDER, M. **Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality**. Berlin: Springer-Verlag, 2008.

Agradecimentos

- Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS – pelo apoio financeiro.

Obtenção de Modelo Matemático para a Avaliação do Ruído de Tráfego em Belém-PA

ALENCAR, W.L.*; OLIVEIRA, C. R.*; QUIXABA, G. S.*; BRAGA NETO, G. A. N.*; SETÚBAL, F. A. N.*; MELO, G. S. V.*; SOEIRO, N.S.*

*Instituto Federal do Pará, Belém, PA, wilson.alencar@ifpa.edu.br

+Grupo de Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, caiane-

ribeiro@hotmail.com, gjsmqgabrielsoares@gmail.com, gerardo-nogueira@hotmail.com, fabioans@ufpa.br, gmelo@ufpa.br,

nssoeiro@ufpa.br

Resumo

Com a rápida e, muitas vezes desorganizada, expansão das cidades brasileira, a poluição sonora se tornou cada vez mais presente na vida dos cidadãos. Neste cenário, pode-se destacar o aumento do tráfego veicular como fator agravante, tornando necessário o desenvolvimento de estudos para análise de ruído. Assim, tomando como objeto de estudo uma movimentada avenida de Belém-PA, selecionou-se 6 pontos para medição dos níveis estatísticos (L_{10} , L_{50} e L_{90}) e do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}), para o desenvolvimento de modelos matemáticos para predição destes níveis de pressão sonora, a partir da utilização das técnicas estatísticas de regressão linear, e análise da validade destes modelos para outras vias do município. Concluiu-se que os modelos obtidos apresentaram boa precisão, conseguindo até representar satisfatoriamente outras vias que mantêm um padrão semelhante ao da via em foco.

Palavras-chave: Ruído de tráfego, modelos matemáticos, níveis estatísticos, nível equivalente de ruído

1. Introdução

O Ruído produzido pelo tráfego rodoviário é a fonte mais significativa de poluição sonora ambiental nas cidades. A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2010) exalta que a poluição sonora é hoje, depois da poluição da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas no mundo.

O ruído é um dos agentes prejudiciais para a cidadania; portanto, muitos países introduziram limites de emissão sonora para veículos e emitiram outras legislações para reduzir ruído do tráfego rodoviário (ABBASPOUR *et al.*, 2006; STEFANO, 2001; MANSOURI *et al.*, 2006).

Para solucionar problemas relacionados ao ruído, torna-se necessária a identificação e caracterização da fonte que o emite, para permitir a modelagem da situação e estabelecer alterações nos componentes de estudo, que se definem como a fonte, o receptor e o meio que une ambos.

O reconhecimento de ruído do tráfego rodoviário como uma das principais fontes de poluição ambiental tem demandado o desenvolvimento de modelos matemáticos que nos permitam prever o nível de pressão sonora especificados em termos de L_{Aeq} , L_{10} , L_{50} e L_{90} , níveis estes quantificados a partir do monitoramento do tráfego rodoviário (STEELE, 2001).

Segundo Bistafa (2011), o nível estatístico L_{90} representa o nível de pressão sonora que foi

excedido em 90% do tempo de medição, o L_{10} é o nível de pressão sonora que foi excedido em 10% do tempo e o L_{50} , o nível de pressão sonora excedido em 50% do tempo de medição. Por outro lado, o nível equivalente L_{Aeq} , é definido como sendo o nível de pressão sonora estacionário, na escala dB(A), que ocorre durante o intervalo de registro e que geraria a mesma energia sonora produzida pelos eventos sonoros registrados.

Vários são os parâmetros de tráfego que apresentam correlação direta ou inversa com a geração dos níveis de ruído de tráfego. Os principais são: o volume de tráfego, a composição do tráfego, a velocidade dos veículos, o gradiente da pista e a distância da fonte ao receptor (GARCÍA & FAUS, 1991; SATTler, 1999; GOLEBIEWSKI *et al.*, 2003; GOLMOHAMMADI *et al.*, 2007; CALIXTO *et al.*, 2008).

Para o presente trabalho, tem-se como objeto de estudo a cidade de Belém-PA, que por ser formada por corredores de tráfego de intensa movimentação de veículos, onde o número de veículos nas ruas se elevou em 48% (DENATRAN), entre abril dos anos de 2010 e 2015. Todo esse crescimento urbano produz um impacto imediato: engarrafamentos das vias e estresse de motoristas e pedestres, além do aumento vertiginoso do ruído de tráfego, principalmente em horários de maior fluxo. Com esta problemática, revela-se a necessidade de adotar estratégias de estudo e gestão voltadas a melhor qualidade de vida da população.

Para isto, escolheu-se uma via em sentido único, onde a velocidade máxima permitida é de 50 km/h, sendo realizadas medições dos níveis estatísticos (L_{90} , L_{50} e L_{10}) e do nível equivalente (L_{Aeq}) de pressão sonora, aplicou-se os resultados para a elaboração de modelos de predição dos níveis de ruído do tráfego a partir das características da via e verificou-se a aplicabilidade de tais modelos em outras vias da cidade de Belém, que em alguns casos apresentava características diferentes da via em foco.

2. Metodologia

A partir de uma revisão bibliográfica realizada no que concerne a avaliação do ruído de tráfego, destacou-se entre os vários modelos desenvolvidos nas últimas décadas para a predição dos níveis de ruído de tráfego, os desenvolvidos por Bolt *et al.* (1952), por Griffiths e Langdon (1968), Galloway *et al.* (1969), Burguess (1977), CSTB (1991), Calixto (2002) e Silva e Goldner (2004).

Objetivando dar continuidade ao trabalho desenvolvido por Oliveira *et al.* (2015), que aplicou na avenida José Malcher os modelos matemáticos acima citados e verificou a eficiência destes neste caso particular, notando a necessidade de desenvolver-se um modelo próprio à esta via e, uma vez que não existem no Brasil normas que determinem os procedimentos para predição dos níveis de ruído de tráfego gerados em rodovias e avenidas, estabeleceu-se a metodologia descrita a seguir que foi utilizada para compor este trabalho.

2.1 Caracterização do Espaço Amostral

Em Belém do Pará, uma das vias mais antigas de tráfego intenso é a avenida Governador José Malcher, que une a principal via de acesso da cidade (Av. Almirante Barroso) ao centro comercial e histórico.

Tendo em vista a existência de muitas variáveis no processo de análise de ruído, tornou-se necessário que na escolha dos locais de medições fossem encontradas grandes semelhanças em relação ao:

- Tipo e condições da pavimentação;
- Trecho considerado: trajetória e inclinação longitudinal;
- Comportamento do tráfego quanto à velocidade e aceleração;
- Características dos arredores da via.

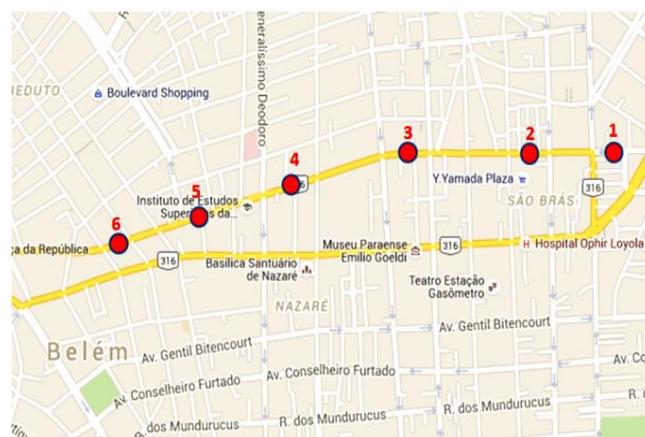
Buscou-se então, utilizar um procedimento que pudesse permitir a melhor caracterização do ruído na via selecionada, a qual apresenta uma geometria diferenciada ao longo de sua extensão. Observando esta característica da avenida optou-se por dividi-la

em seis zonas distintas (cada uma representando um trecho da via que possui características semelhantes) e em cada zona realizou-se as medições em um único ponto.

A avenida e a disposição dos pontos de medição podem ser observadas na Fig.1., sendo a identificação dos pontos conforme descrito abaixo:

- Ponto 1 – entre Av. Almirante Barroso e Av. José Bonifácio;
- Ponto 2 – entre Tv. Francisco Caldeira Castelo Branco e Tv. 14 de Abril;
- Ponto 3 – entre Tv. 09 de Janeiro e Av. Alcindo Cacela;
- Ponto 4 – entre Tv. 14 de Março e Av. Generalíssimo Deodoro;
- Ponto 5 – Av. Almirante Wandenkolke Av. Visconde de Souza Franco;
- Ponto 6 – entre Tv. Rui Barbosa e Tv. Benjamin Constant.

Figura 1 :Mapa da Av. José Malcher e disposição dos pontos de medição.



Fonte: Google Maps.

2.2 Medição do Ruído e Caracterização do Tráfego de Veículos

Uma vez definido os padrões de cada zona que compõe a via, as variáveis de entrada no modelo desenvolvido, se resumiram ao fluxo, a composição do tráfego e a geometria da via, e as variáveis de saída, aos níveis de pressão sonora.

Para obter o nível de ruído foi utilizado o medidor do Nível de Pressão Sonora da marca 01dB, modelo Blue Solo, sendo colocado equidistante aos cruzamentos anterior e posterior ao ponto escolhido, como forma de reduzir a captação do ruído ocasionado pela aceleração após a abertura do semáforo, e sempre a 1,5 m do meio fio da via, como ilustra a Fig.2. O medidor foi posicionado a uma distância de 1,2 m do solo e a 2 m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, segundo a NBR 10.151 (ABNT, 2000).

Figura 2: Medidor do Nível de Pressão Sonora Blue Solo 1,0 dB posicionado em um ponto de medição.



Fonte: Próprio Autor

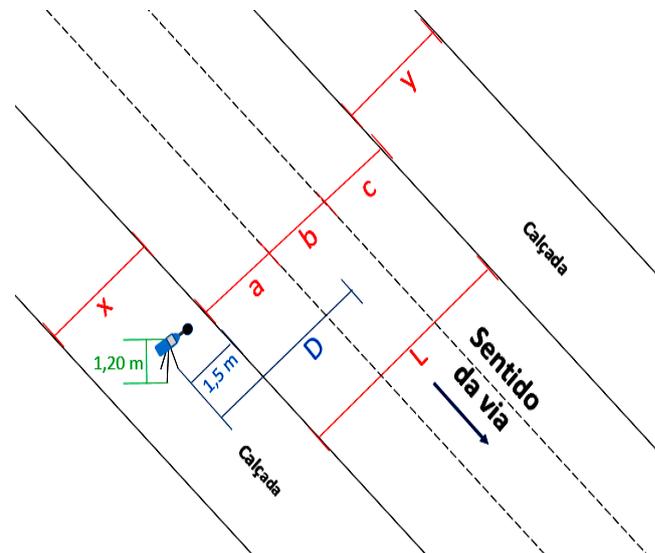
Em cada ponto, foram realizadas 90 medições, com duração de 2 min no intervalo das 7 às 19h, compreendendo dias de terça, quarta e quinta-feira. Em todas as medições, o medidor foi ajustado no modo de resposta “fast”, sendo os valores medidos expressos em dB(A).

A contagem da quantidade de automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus que passavam pelo observador durante os intervalos de tempo de 2 min, foram realizadas por contagem direta dos veículos e transferidas as quantidades para uma planilha junto aos níveis de ruído. Classificamos os veículos em leves e pesados, segundo o CONTRAN (2010), considerando veículos leves (VL): correspondendo a ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel utilitário, caminhonete e camioneta; veículos pesados (VP): ônibus, microônibus, caminhão, caminhão-trator, trator de rodas, trator misto, chassi-plataforma, motor-casa, reboque ou semireboque e suas combinações.

Devido ao fato da geometria da via apresentar dimensões diferentes ao longo de sua extensão, a distância do medidor até o centro desta é diferente em cada um dos pontos estudados. A representação das características geométricas dos pontos de medição pode ser representada pela Fig.3 e a Tabela 1, onde:

- x: largura da calçada à direita da via;
- y: largura da calçada à esquerda da via;
- a: largura da faixa 1;
- b: largura da faixa 2;
- c: largura da faixa 3;
- D: distância do receptor ao centro da via

• L: largura da via.
Figura 3: Representação das características geométricas dos pontos de medição



Fonte: Autoria própria

Tabela 1: Valores em metros das características geométricas dos pontos de medição.

Ponto	x	y	a	b	c	D	L
1	4,10	12,00	5,40	3,50	3,50	7,70	12,40
2	6,40	6,60	5,00	3,00	3,00	7,00	11,00
3	6,40	6,60	4,20	2,50	2,50	6,10	9,20
4	5,40	5,20	2,80	2,55	2,55	5,45	7,90
5	5,80	4,50	3,10	2,70	2,70	5,75	8,50
6	4,40	5,20	3,90	3,60	0,00	4,75	7,50

2.3 Obtenção do Modelo Matemático

A partir de uma análise estatística dos dados das medições realizadas nas seis zonas estudadas, utilizou-se uma metodologia de regressão linear para obtenção dos modelos matemáticos para predição dos níveis estatísticos (L_{10} , L_{50} e L_{90}) e do nível equivalente de ruído. Para isto, obteve-se os coeficientes de correlação entre as variáveis observadas e os níveis de pressão sonora medidos, para escolher quais são as que mais influenciam e empregá-las na elaboração dos modelos. A Tabela 2 apresenta os coeficientes de correlação encontrados.

Tabela 2: Coeficientes de correlação entre as variáveis observadas e os níveis de pressão sonora da Av. José Malcher.

	VP	VL	L_{eq}	L_{10}	L_{50}	L_{90}	Q/h	%V P
VL	0,2 4							
L_{eq}	0,4 2	0,1 7						
L_{10}	0,4 9	0,1 7	0,9 1					
L_{50}	0,4 5	0,2 0	0,8 1	0,7 7				
L_{90}	0,3 6	0,2 2	0,4 8	0,4 3	0,6 6			
Q/h	0,4 6	0,9 7	0,2 5	0,2 8	0,2 9	0,2 9		
%V P	0,8 5	0,2 5	0,3 3	0,4 0	0,3 6	0,2 7	0,0 3	
d	0,2 6	0,1 8	0,1 1	0,0 4	0,1 1	0,4 7	0,2 3	0,2 1

Onde VL é a quantidade de veículos leves, VP é a quantidade de veículos pesados, Q é o fluxo veicular por hora, %VP é a porcentagem de veículos pesados e d é a distância do aparelho de medição ao centro da via.

Como busca-se modelos gerais para via, considerou-se os fatores que influenciavam ambos os níveis de pressão sonora e que simplificasse a utilização dos modelos desenvolvidos. Neste caso, destacaram-se Q, %VP e d, os quais foram admitidos como variáveis para os modelos desenvolvidos. Primeiro, ajustou-se a curva de dados considerando o fluxo de veículos por hora e observando como este parâmetro influenciou nos níveis de pressão sonora. Verificou-se, então, a influência do Q e da porcentagem de veículos pesados nos níveis de pressão sonora, notando um aperfeiçoamento dos modelos desenvolvidos. Por fim, considerou-se a influência do Q, da %VP e também da d, onde obteve-se os melhores resultados, comparando o níveis de pressão sonora medidos e os calculados pelos modelos, encerrando o processo de otimização dos modelos matemáticos.

3. Resultados e Discussões

As médias dos valores coletados durante as medições encontram-se na Tabela 3. As amostras apresentam distribuição padrão (Gaussiana), então durante o tratamento de dados, descartou-se aqueles valores muito discrepantes do padrão.

Tabela 3: Dados coletados na Av. José Malcher.

Ponto	Q	%V P	L_{eq}	L_{10}	L_{50}	L_{90}
1	1970,7	13,4	73	76	70	67
2	1954	15,2	75	79	72	66
3	2140,3	12,5	74	78	71	64
4	2100,3	13	76	80	73	67
5	2259,3	11,9	75	79	71	65
6	1501,3	9,4	73	77	69	61

Assim, seguindo a metodologia descrita acima, obteve-se primeiro os modelos (de uma variável) para predição do L_{eq} , do L_{10} , do L_{50} e do L_{90} , que são apresentados nas equações 01, 02, 03 e 04, respectivamente. Os resultados de todos os modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho são expressos em dB(A).

$$L_{eq} = 71,89 + 0,00144 \cdot Q \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$L_{10} = 74,865 + 0,001581 \cdot Q \quad [\text{Eq. 02}]$$

$$L_{50} = 67,79 + 0,001641 \cdot Q \quad [\text{Eq. 03}]$$

$$L_{90} = 60,278 + 0,002394 \cdot Q \quad [\text{Eq. 04}]$$

Os modelos de duas variáveis para predição dos níveis de ruído da via, são apresentados nas equações 05, 06, 07 e 08.

$$L_{eq} = 69,711 + 0,001491 \cdot Q + 0,1693 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 05}]$$

$$L_{10} = 72,212 + 0,001699 \cdot Q + 0,207 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 06}]$$

$$L_{50} = 65,438 + 0,001699 \cdot Q + 0,1824 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 07}]$$

$$L_{90} = 57,649 + 0,002455 \cdot Q + 0,2043 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 08}]$$

E por fim, os modelos desenvolvidos com três variáveis, para predição do nível equivalente e dos

níveis estatísticos, são apresentados nas equações 09, 10, 11 e 12.

$$L_{eq} = 71,17 + 0,001702 \cdot Q + 0,1861 \cdot (\%VP) - 0,0893 \cdot d \quad [\text{Eq. 09}]$$

$$L_{10} = 73,828 + 0,001870 \cdot Q + 0,2255 \cdot (\%VP) - 0,3779 \cdot d \quad [\text{Eq. 10}]$$

$$L_{50} = 65,815 + 0,001755 \cdot Q + 0,1868 \cdot (\%VP) - 0,0893 \cdot d \quad [\text{Eq. 11}]$$

$$L_{90} = 52,425 + 0,001704 \cdot Q + 0,1444 \cdot (\%VP) + 1,224 \cdot d \quad [\text{Eq. 12}]$$

Os gráficos abaixo (Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 7), ilustram as comparações entres os valores medidos no primeiro ponto da Av. José Malcher, do nível equivalente e dos níveis estatísticos de pressão sonora, com os resultados obtidos através dos modelos matemáticos desenvolvidos para uma, duas e três variáveis.

Figura 4: Distribuição do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}) no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

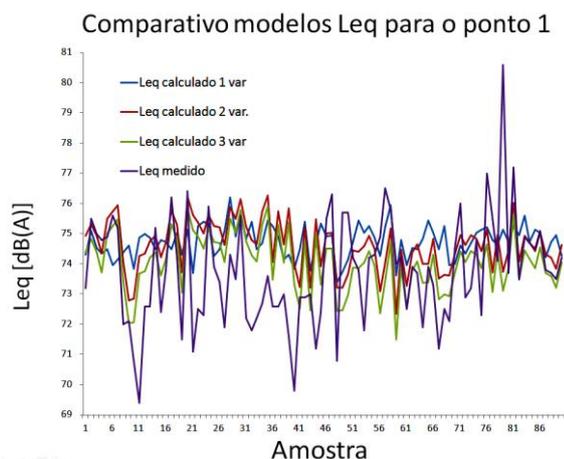


Figura 5: Distribuição do nível estatístico L_{10} no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

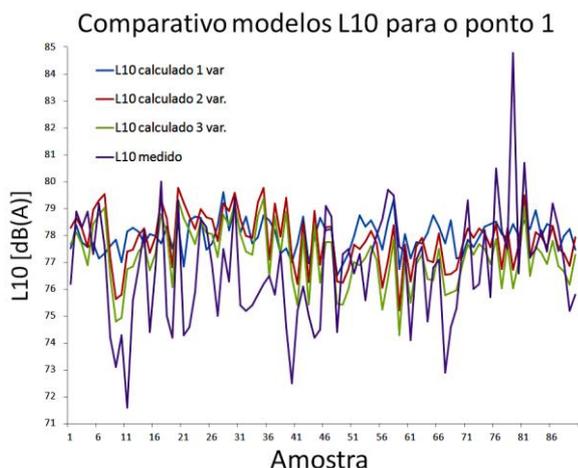


Figura 6: Distribuição do nível estatístico L_{50} no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

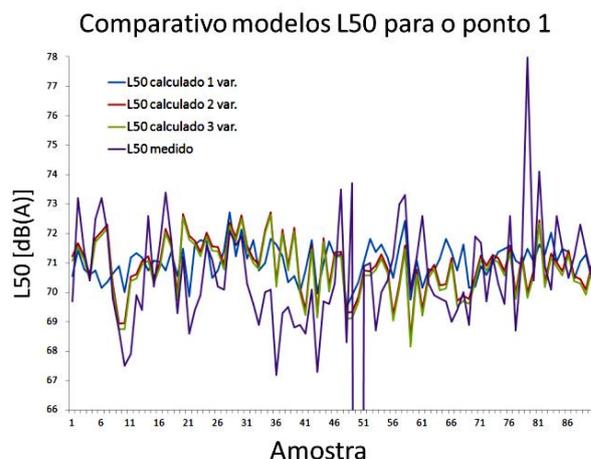
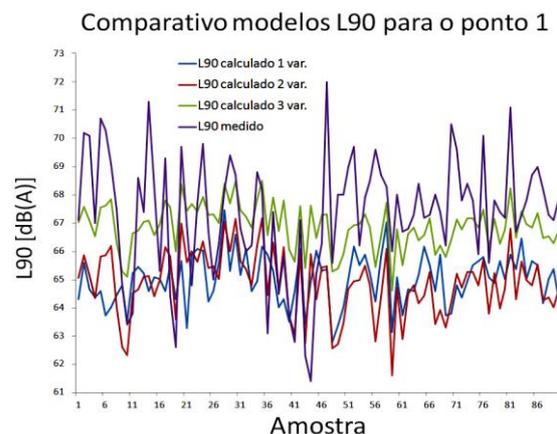


Figura 7: Distribuição do nível estatístico L_{90} no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 1 encontram-se na Tabela 4.

Na predição do L_{eq} pode-se notar maior precisão utilizando o modelo de três variáveis, visto que o nível equivalente de pressão sonora é influenciado diretamente tanto pelo fluxo de veículos, quanto pela composição do tráfego e a distância do medidor até o centro da via, visto que este tem como função representar a energia sonora produzida pelo evento e estes são os fatores que apresentam maiores coeficientes de correlação.

Na predição do L_{10} , observa-se que o modelo desenvolvido com três variáveis continua sendo o mais preciso, visto que este nível estatístico ressalta os valores de pico e o fator que mais colabora com a elevação dos níveis de pressão sonora são a porcentagem de veículos pesados e o fluxo veicular, enquanto a distância do centro da via até o medido colabora com a melhor representação da situação real.

Tabela 4: Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 1

Comparação dos Valores no Ponto 1		
	Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq 1 var.	-1,01847	1,733643
Leq 2 var.	-0,89713	1,778065
Leq 3 var.	-0,33259	1,798337
L10 1 var.	-1,23228	2,005975
L10 2 var.	-1,08705	2,022231
L10 3 var.	-0,46329	2,040694
L50 1 var.	-0,12168	0,671207
L50 2 var.	0,364952	0,869252
L50 3 var.	0,519792	0,875187
L90 1 var.	2,775173	0,61647
L90 2 var.	3,322878	0,838209
L90 3 var.	1,219613	0,757644

Na predição do L_{50} , observa-se que o modelo desenvolvido com uma variável está sendo mais preciso.

O gráfico dos valores obtidos para o L_{90} confirma o quanto a otimização do modelo desenvolvido era necessária, visto que, em todos os casos, o modelo mais preciso foi o de três variáveis. Neste caso, a variável d não interfere diminuindo o nível de pressão sonora calculado, uma vez que o L_{90} representa o nível de ruído predominante, que tende a permanecer constante.

Para o segundo ponto de medição da Av. José Malcher, temos os resultados (medidos e calculados) dos níveis de ruído apresentados nos gráficos abaixo (Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11), para questão de comparação.

Figura 8: Distribuição do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}) no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

Comparativo modelos Leq para o ponto 2

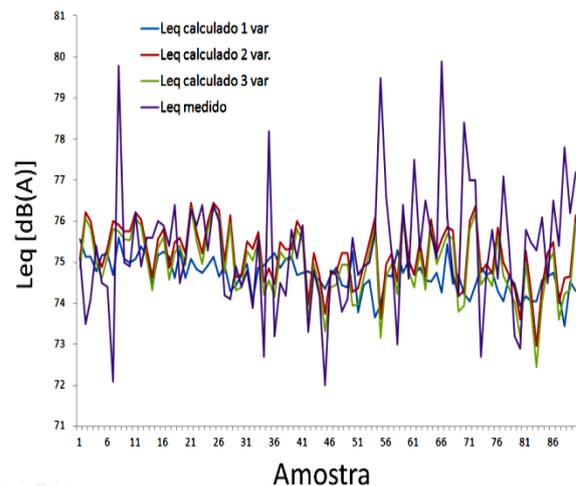


Figura 9: Distribuição do nível estatístico L_{10} no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

Comparativo modelos L10 para o ponto 2

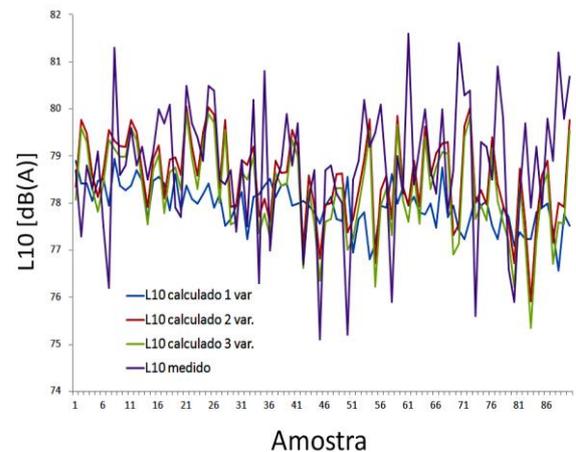


Figura 10: Distribuição do nível estatístico L_{50} no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

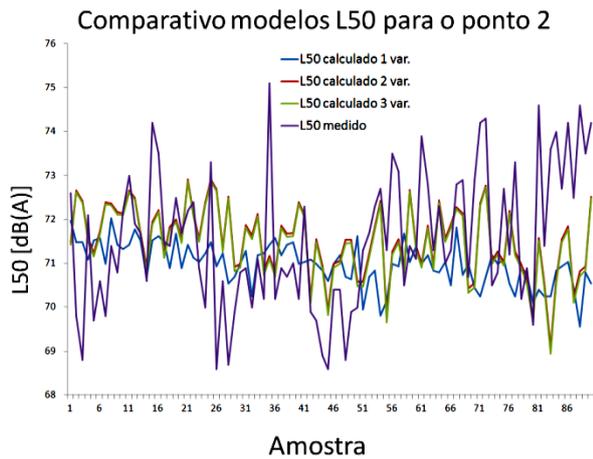
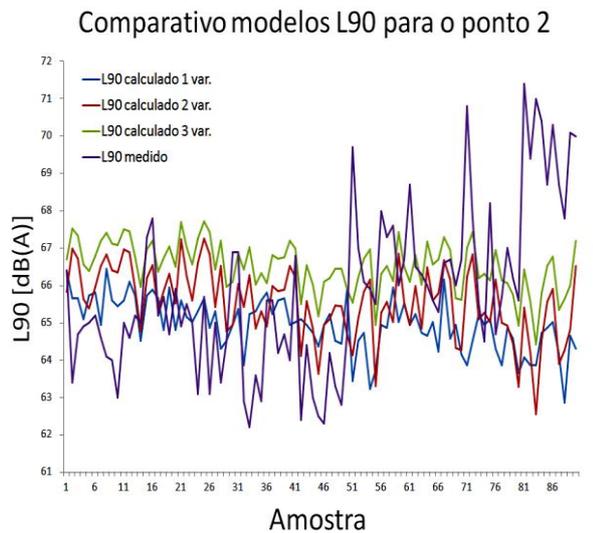


Figura 11: Distribuição do nível estatístico L_{90} no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 2 encontram-se na Tabela 5.

Apesar de algumas características da via se alterarem de um ponto a outro, podemos notar que os modelos matemáticos desenvolvidos continuam apresentando boa precisão, principalmente os modelos com duas e três variáveis, visto que a análise de ruído é influenciada por vários fatores e considerou-se neste caso os fatores predominantes.

Como discutido acima, continuaremos a seguir o mesmo padrão ao analisarmos os demais pontos, como podemos notar nos gráficos a seguir no terceiro (Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14 e Fig. 15), quarto (Fig.16, Fig.17, Fig.18 e Fig.19), quinto (Fig.20, Fig.21, Fig.22 e Fig.23) e sexto (Fig.24, Fig.25, Fig.26 e Fig.27) ponto de medição.

Tabela 5: Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 2

Comparação dos Valores no Ponto 2			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	1,2144	1,614614
Leq var.	2	0,52374	1,557079
Leq var.	3	0,739816	1,585905
L10 var.	1	1,491185	1,481213
L10 var.	2	0,644719	1,346972
L10 var.	3	0,883663	1,377442
L50 var.	1	2,139285	1,70652
L50 var.	2	1,393119	1,688254
L50 var.	3	1,451002	1,69645
L90 var.	1	2,85869	2,476265
L90 var.	2	2,025924	2,553361
L90 var.	3	1,247439	2,403287

Figura 12: Distribuição do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}) no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

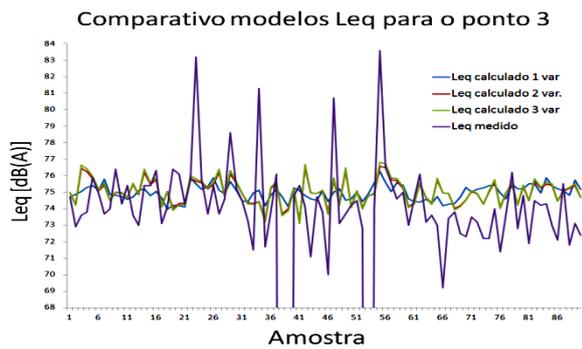


Figura 13: Distribuição do nível estatístico L_{10} no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

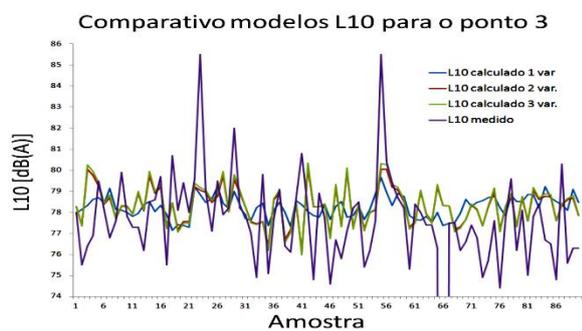


Figura 14: Distribuição do nível estatístico L_{50} no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

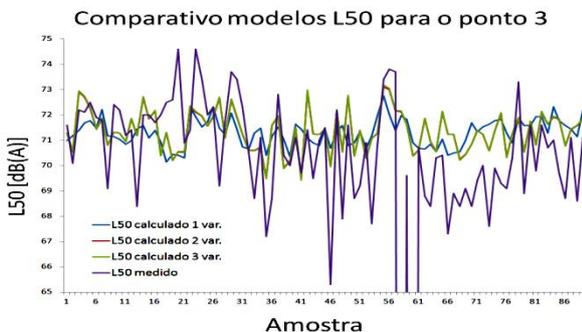
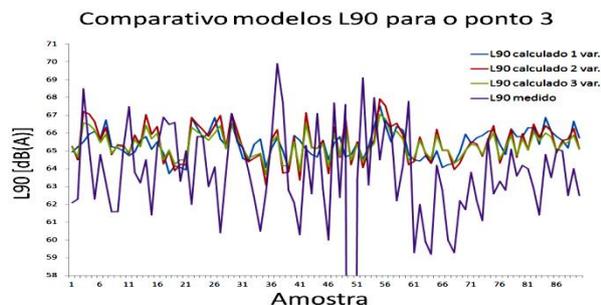


Figura 15: Distribuição do nível estatístico L_{90} no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 3 encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 3

Comparação dos Valores no Ponto 3			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	-1,3856	1,962363
Leq var.	2	-1,26621	2,120801
Leq var.	3	-1,27773	2,112375
L10 var.	1	-0,91485	1,956476
L10 var.	2	-0,9275	1,837292
L10 var.	3	2,735486	1,838628
L50 var.	1	-1,21072	1,790933
L50 var.	2	-1,08415	1,59513
L50 var.	3	-1,08559	1,593511
L90 var.	1	-3,04131	2,464316
L90 var.	2	-2,89656	2,359231
L90 var.	3	-2,86005	2,325269

Observando os gráficos obtidos no ponto 3, é perceptível alguns resultados sofrerem uma variação considerável entre os valores medidos e os valores calculados. Estas amostras podem se caracterizar pelo fato de ter apresentado no ponto em questão, momentos de congestionamento durante a medição do ruído. Apesar dessas variações, os modelos obtidos apresentam uma satisfatória confiabilidade.

Figura 16: Distribuição do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}) no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

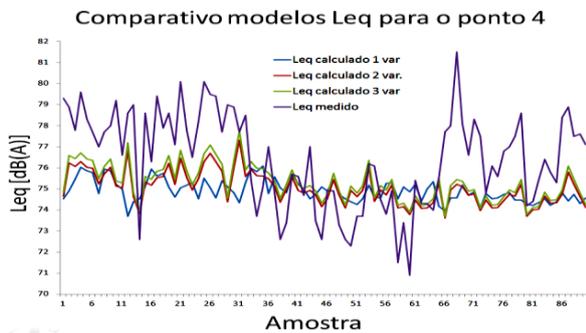


Figura 17: Distribuição do nível estatístico L_{10} no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

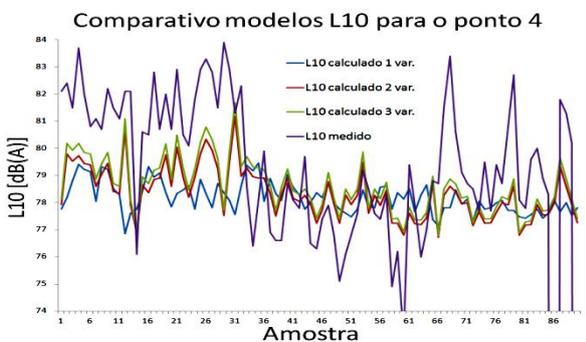


Figura 18: Distribuição do nível estatístico L_{50} no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

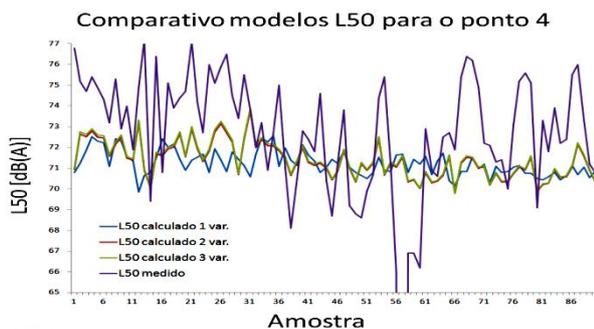
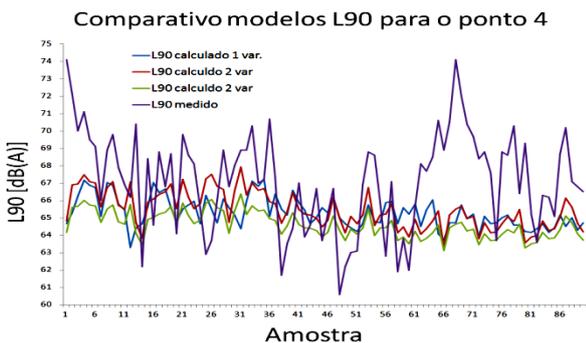


Figura 19: Distribuição do nível estatístico L_{90} no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 4 encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 4

Comparação dos Valores no Ponto 4			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	3,6532	1,586182
Leq var.	2	3,808748	1,17577
Leq var.	3	3,651098	1,139412
L10 var.	1	3,165885	1,662953
L10 var.	2	2,836938	1,890716
L10 var.	3	2,735486	1,747242
L50 var.	1	2,982355	4,277452
L50 var.	2	3,148699	3,835347
L50 var.	3	3,109386	3,825841
L90 var.	1	5,60507	5,424796
L90 var.	2	5,793304	4,929526
L90 var.	3	6,353525	5,059186

O ponto 4 apresentou uma elevada variação entre os valores medidos e os valores calculados, onde podemos caracterizar o ponto em questão, como sendo o ponto da pesquisa, em que o fluxo apresentou maior lentidão e concentração de

veículos. O ponto apresenta um maior enclausuramento, devido a uma grande quantidade de árvores e edificações, tornando o local mais reverberante. Os modelos obtidos para a via em geral, não conseguem representar tão precisamente esta singularidade.

Figura 20: Distribuição do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}) no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

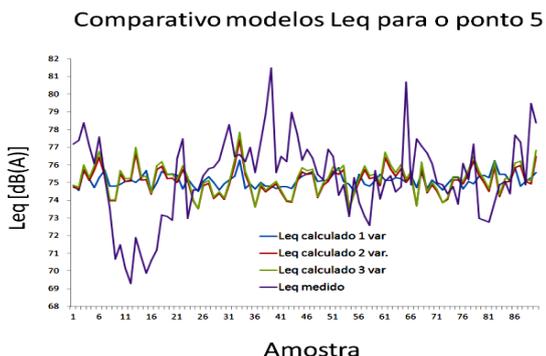


Figura 21: Distribuição do nível estatístico L_{10} no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

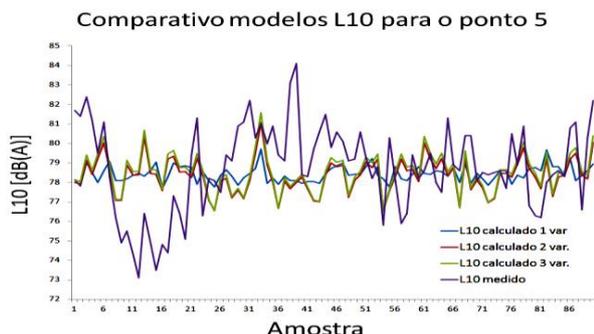


Figura 22: Distribuição do nível estatístico L_{50} no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

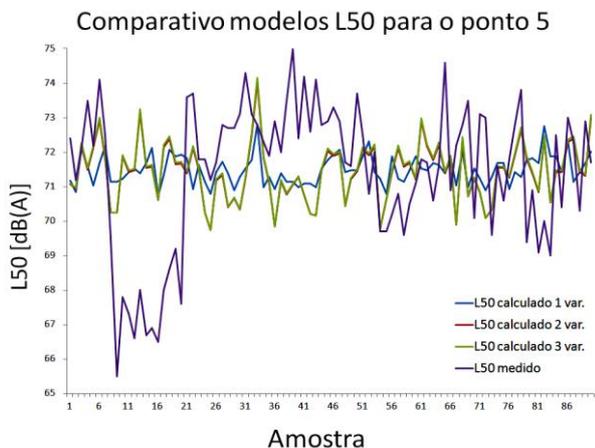


Figura 23: Distribuição do nível estatístico L_{90} no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

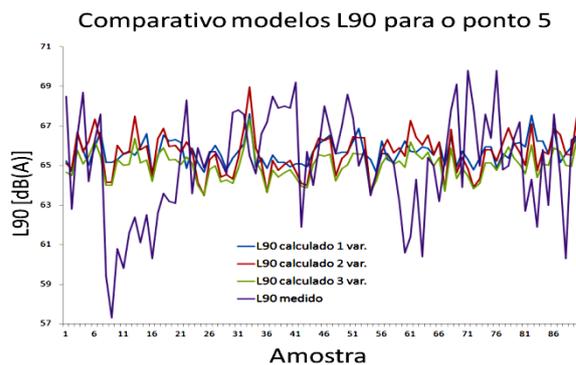


Tabela 8: Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 5

Comparação dos Valores no Ponto 5			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	2,562	0,329229
Leq var.	2	2,164522	0,389205
Leq var.	3	1,938694	0,534763
L10 var.	1	3,409175	0,216594
L10 var.	2	2,922092	1,093438
L10 var.	3	2,673359	1,253238
L50 var.	1	0,444675	1,086759
L50 var.	2	0,013736	1,861885
L50 var.	3	-0,04387	1,900273
L90 var.	1	1,65595	2,277549
L90 var.	2	1,177091	3,14431
L90 var.	3	1,978796	2,6258

A Média e o Desvio Padrão dasDiferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 5 encontram-se na Tabela 8.

Observando os gráficos obtidos no ponto 5, é perceptível algumas distorções entre os valores medidos e os valores calculados, estas amostras podem se caracterizar pelo fato de ter apresentado no ponto em questão, momentos de congestionamento durante a medição do ruído. Entretanto, os modelos obtidos apresentam resultados satisfatórios, com exceção do modelo do L10 com uma variável.

Figura 24: Distribuição do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}) no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.

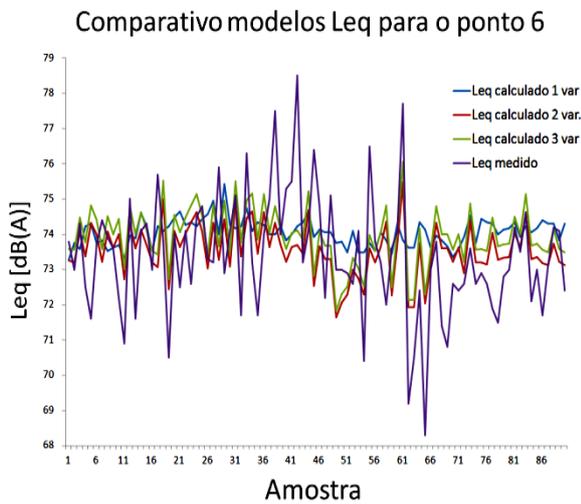


Figura 25: Distribuição do nível estatístico L_{10} no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.

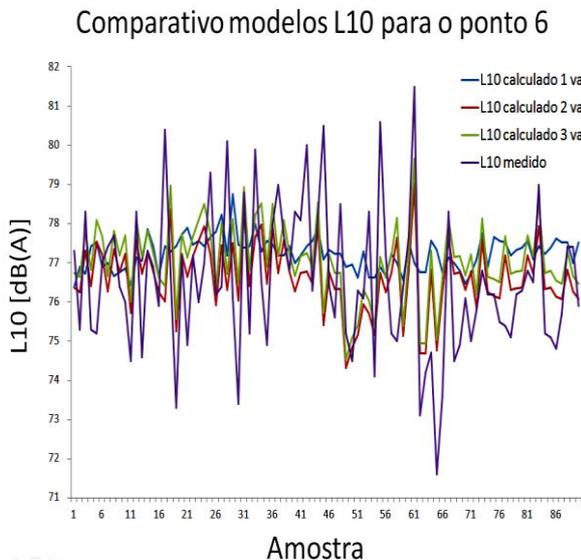


Figura 26: Distribuição do nível estatístico L_{50} no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.

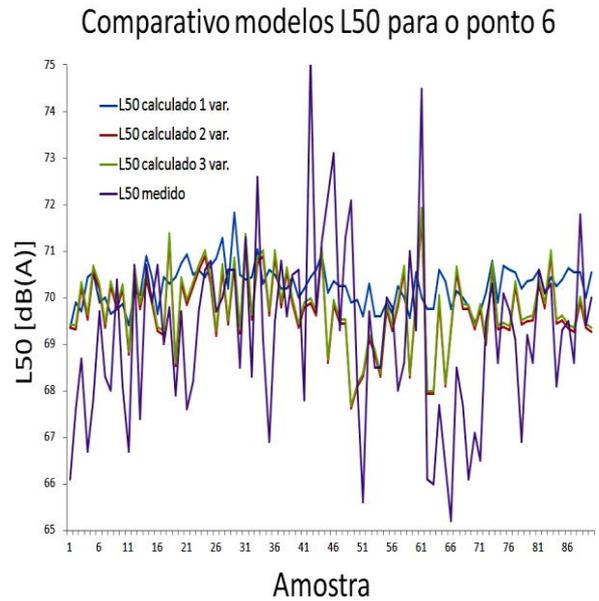
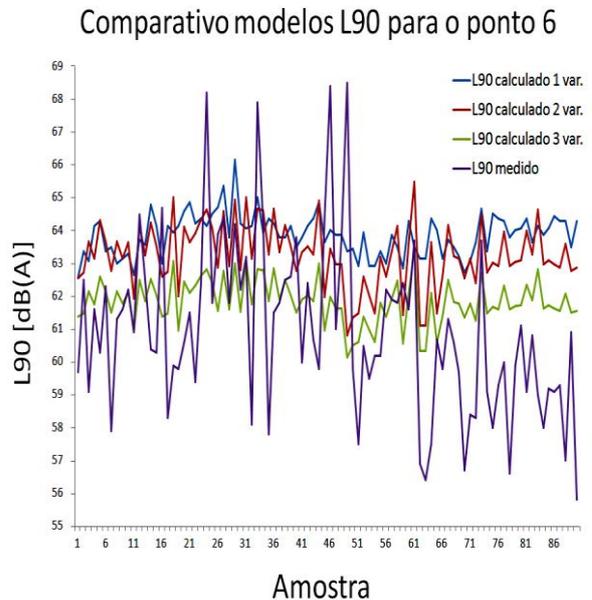


Figura 27: Distribuição do nível estatístico L_{90} no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão dasDiferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 6 encontram-se na Tabela 9.

Os modelos obtidos apresentam resultados bastantes satisfatório para o ponto 6, com exceção os modelos do L50.

Tabela 9: Média e Desvio Padrão dasDiferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 6

Comparação dos Valores no Ponto 6			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	0,5276	1,723078
Leq var.	2	0,54139	0,893949
Leq var.	3	0,20973	0,916519
L10 var.	1	0,91724	1,794863
L10 var.	2	0,92706	0,778884
L10 var.	3	0,5586	0,803051
L50 var.	1	-3,26536	1,922256
L50 var.	2	-3,24904	2,813986
L50 var.	3	-3,33295	2,807699
L90 var.	1	-2,87624	3,976542
L90 var.	2	-2,85955	2,975728
L90 var.	3	-1,67384	2,895921

4. Conclusões

Nesse trabalho foram obtidos modelos matemáticos para a predição do nível de pressão sonora e dos níveis estatísticos, com uma, duas e três variáveis, a partir utilização das técnicas estatísticas de regressão linear. Os modelos obtidos produzem resultados suficientemente próximos aos valores medidos.

Os modelos para o cálculo dos níveis Leq e L10 são mais precisos que os modelos para o cálculo dos níveis L50 e principalmente L90. O resultado já era esperado pois o fluxo de veículos não é absolutamente contínuo e, portanto, a influência de outras fontes de ruídos é maior sobre o L50 e o L90 do que para L10 e Leq.

Os modelos que consideram três variáveis, ou seja, o fluxo de veículos, o percentual de veículos pesados e a distância do observador ao centro da via, predizem melhor os níveis do ruído do tráfego do que os modelos que consideram somente o fluxo de veículos e o fluxo de veículos com o percentual de veículos pesados.

Apesar dos resultados satisfatórios, a via estudada apresentou algumas singularidades referentes a tráfego veicular e a paisagem apresentada ao longo da mesma. Ao longo da via, ocorre um aumento na quantidade de árvores e edificações, além do estreitamento da via, o que a torna ainda mais reverberante, principalmente no ponto 4.

Segundo Cowan (1994), o ruído é perceptível ao ouvido humano em variações sonoras de pelo menos 3 dB, e, se tomado como referência o ruído de fundo, esse incremento começa a causar pequenos incômodos às pessoas (MURGEL, 2007). Diante disso, parece razoável admitir nas análises, diferença da ordem de 3 dB(A) entre nível de ruído medido e calculado.

Verificou-se nas medições, que em média, o nível equivalente de emissão do ruído de tráfego medidos na avenida, ultrapassou os limites definidos pela lei nº 7990 de 10 de janeiro de 2000, que limita em 70 dB, em horário diurno e 60 dB, em horário noturno. Com o levantamento feito, é possível prever que a população que reside ou trabalha nessas áreas, sofre os efeitos deste ruído, o que representa riscos à saúde e prejuízo a qualidade de vida. A partir deste problema, deve-se tomar ações para o controle do ruído.

Referências

- [1] ABBASPOUR, M.; GOLMOHAMMADI, R.; NASSIRI, P.; MAHJUB, H. An Investigation on Time-Interval Optimization of Traffic Noise Measurement. **Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control** 25(4), 267-273, 2006.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento: Referências: Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- [3] BELÉM. Prefeitura Municipal. Lei Municipal no 7.990, de 10 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o controle e o combate à poluição sonora no âmbito do Município de Belém.. Disponível em:

<http://www.belem.pa.gov.br/semma/paginas/lei_79_90.htm>. Acesso em: 16 outubro de 2015.

[4] BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo, Bluncher 2011.

[5] BOLT, R. H.; BERANEK, L.; NEWMAN, R. **Handbook of Acoustic Noise Control**. WADC technical report: Wright Air Development Center, 1952.

[6] BURGESS, M. A. Noise Prediction for Urban Traffic Conditions – Related to Measurements in the Sydney Metropolitan Area. **Applied Acoustic** 10, 001-007, 1977.

[7] CALIXTO A.; PULCIDES, C.; ZANNIN, P.H. T. Evaluation of transportation noise in urbanized areas – A case study. **Archives of Acoustics** 33(2), 151-164, 2008.

[8] CALIXTO, A.O Ruído gerado pelo Tráfego de Veículos em ‘Rodovias-Grandes Avenidas’, Situadas Dentro do Perímetro Urbano de Curitiba, Analisados Sobre Parâmetros Acústicos Objetivos e seu Impacto Ambiental. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

[9] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução Nº 340 de 25 de fevereiro de 2010. Referenda a Deliberação 86 que altera a Resolução CONTRAN nº 146/03, estabelecendo critérios para informação complementar à placa R-19. Ministério das Cidades. Brasília: 2010

[10] COWAN, J. P. Handbook of environmental acoustics. John Wiley & Sons, Inc.: New York, 283 p., 1994

[11] CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment). Etude théorique et expérimentale de la propagation acoustique. **Revue d'Acoustique**, n.70, 1991.

[12] DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). Frota de veículos. 2015. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 18/05/2015.

[13] GALLOWAY, W. J.; CLARK, W. E.; KERRICK, J. S. Urban Highway Noise: Measurement, Simulation and Mixed Reactions. **NCHRP report** 78, 1969.

[14] GARCÍA A.; FAUS L.J. Statistical Analysis of Noise Levels in Urban Areas. **Applied Acoustics**(91), 227-247, 1991.

[15] GOLEBIEWSKI, R.; MAKAREWICK, R.; NOWAK, M.; PREIS, A. Traffic Noise Reduction due the porous Road Surface. **Applied Acoustics** 64, 481-494, 2003.

[16] GOLMOHAMMADI, R.; ABBASPOUR, M.; NASSIRI, P.; MAHJUB, H. Road Traffic Noise Model. **J Res Health Sci** 7(1), 13-17, 2007.

[17] GRIFFITHS, I. D.; LANGDON, F. J. Subjective Response to road traffic noise. **Journal of Sound and Vibration** 8, 16-32, 1968.

[18] MASOURI, N. A.; POUR MAHABADIAN, M.;

GHASEMKHANI, M. Road Traffic Noise in Downtown Area of Tehran. **Iranian Journal Of Environmental Health Science And Engineering** 3(4), 261-266, 2006.

[19] MURGEL, Fundamentos de Acústica Ambiental. Editora SENAC, São Paulo, 2007.

[20] OLIVEIRA, C. R.; ALENCAR, W. L. M.; QUIXABA, G. S.; BRAGA NETO, G. A. N.; SANTOS, W. S.; SOEIRO, N. S. Application of mathematical models in the analysis of traffic noise in the city of Belém, Pará, Brazil. Proceedings. **Anais do 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering**, 2015. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2015.

[21] SATTTLER, M. A. Urban Noise Survey for the City Porto Alegre, Brazil. Proceedings. **137th Meeting of the Acoustical Society of America – Fórum Acusticum**, Berlim, Germany, 1999.

[22] SILVA, G. C.; GOLDNER, L. G. Modelos de Predição dos Níveis de Ruído e Monóxido de Carbono Gerados pelo Tráfego: o Caso de Florianópolis – SC. Proceedings. **18th Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET 2004**, Florianópolis, Brazil, 2004.

[23] STEELE, C. A. Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models. **Applied Acoustic** 62, 271-287, 2001.

[24] STEFANO, R.; DANATO, D.; MORRI, B. A Statistical Model for Predicting Road Traffic Noise on Poisson Type Traffic Flow. **Noise Control Engineering Journal** 49(3), 137-143, 2001.

[25] WHO (World Health Organization). International Society of Hypertension Guidelines for the Management of Hypertension, **Guidelines Subcommittee**, 2010.

O Engenheiro Acústico tem Lugar no Ministério da Saúde? No Chile, Sim. No Brasil, Habilitam-se Convergências e Novos Desafios

PAIXÃO, D. X. DA*¹; ANTONIOLLI, S. A.*²

*Laboratório de Estudos do Ruído, Acústica, Saúde, Educação e Qualidade de Vida-LERASEQ/CNPq/UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, RS, dilmarpaixao@yahoo.com.br

+Núcleo de Estudos em Saúde Pública, Coletiva e do Trabalho-NES/CNPq/UFRGS, Porto Alegre, RS, linelli@bol.com.br

Resumo

Este estudo de análise teórica combinada com relatos de pesquisas em abordagens exploratórias e descritivas resultantes de aplicabilidades e trabalhos científicos sobre políticas e ações de educação e saúde tem o objetivo de suscitar reflexões sobre a interdisciplinaridade, a ação profissional, a diversidade do mundo do trabalho e a cidadania, considerando a prevenção dos riscos de adoecimento das pessoas, a proteção do trabalhador e a promoção dos níveis da sua saúde como ser humano. Por mais atípico que pareça, a compleição de engenheiros acústicos entre as equipes do Ministério da Saúde do Chile alarga limites de atuação, anima a interdisciplinaridade e apresenta novas alternativas para a ação integrada no campo do conhecimento e território das áreas profissionais. O sucesso no trabalho não é resultado somente de escolhas. Embora pareça simpática, a iniciativa é inovadora e plural merecendo avaliações e planejamentos sistematizados, inclusive, na direção de outros compartilhamentos profissionais, com suportes qualificados, investimentos adequados e suficientes para que as gestões governamentais sejam mais próximas da clientela e sensíveis aos anseios e necessidades das pessoas, viabilizando a cidadania.

Palavras-chave: Engenharia Acústica, Saúde Pública, Interdisciplinaridade, Promoção da Saúde, Cidadania.

1. Introdução

A interdisciplinaridade dos estudos sobre ruído e adoecimento poderia responder proficuamente à constatação e justificantes da presença de quatro engenheiros acústicos integrados às equipes gestoras do trabalho no Ministério da Saúde do Chile. A surpresa dessa verificação serve de modelagem a iniciativas similares e acrescenta relevo ao pensamento reflexivo sobre intenções de se aproximar e intercomplementar as ações dos profissionais de múltiplos campos do conhecimento.

À luz de uma reflexão mais criteriosa, não se deve imaginar que se trata de uma exceção chilena, mas de uma decisão governamental para inaugurar outras associações entre elementos formadores de concepções do que sejam, por exemplo, saúde e qualidade na vida e no trabalho. No Brasil, embora a Sociedade Brasileira de Acústica-SOBAC exista desde 1984, há um único curso de graduação em engenharia acústica no país, com o ingresso da primeira turma de alunos apenas no vestibular de 2009 na Universidade Federal de Santa Maria-UFSM e primeira formatura apenas em janeiro de 2015.

O presente artigo tem o objetivo central de suscitar reflexões sobre tendências de promover articulações entre a ação profissional, a cidadania e a

diversidade do mundo do trabalho, com foco em três aspectos essenciais para isso: a prevenção dos riscos de adoecimento das pessoas, a proteção do trabalhador e a promoção dos níveis da sua saúde como ser humano. Para tanto, adota-se o *case* do ruído e se aborda, num plano inicial, o exercício interdisciplinar e a prática educativa, seguidos da necessidade de se fortalecer esse cenário contextual, desde a gestão à atuação dos profissionais na sociedade, cada vez mais mundializada e aspirando assumirem-se compromissos em prol de uma nova cidadania individual e coletiva.

Na agenda das práticas sociais, como asseguram Zitkoski e Genro(2014), considera-se que todo indivíduo é um sujeito com direito à dignidade humana e que os direitos humanos precisam ser compreendidos numa perspectiva intercultural, superando a visão eurocêntrica predominante ainda hoje. Ao se conceber que a formação da cidadania acontece através da vida social, política e cultural, compreender-se-á quão urgentes são as demandas pelo exame dos aspectos intrínsecos e extrínsecos da formação profissional às políticas de gestão institucional e mercadológica, dos valores da atuação interdisciplinarizada e de ressignificar concepções no sentido de aprimorar a cidadania e seus direitos correlacionados.

A perspectiva de refletir um imaginável desempenho de profissionais como o engenheiro acústico na organicidade do setor público da saúde coletiva brasileira expõe por si esta relevância temática, inclusive, a ser estudada com maior profundidade em outros momentos. Basta uma retrospectiva mínima sobre as ações institucionalizadas do segmento saúde para se encontrar maiores gastos e investimentos voltados ao atendimento das consequências provocadas pelas doenças do que à prevenção dos seus danos. Nessa linha de raciocínio, vale encontrar-se com a opinião de Arouca (2002, apud CONFERÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE, 2003, p.10) ensinando que o Projeto da Reforma Sanitária é também o da civilização humana, é um projeto civilizatório, que, para se organizar, precisa ter dentro dele “valores que nunca devemos perder, pois, o que queremos para a saúde, queremos para a sociedade brasileira”.

Como ideólogo, militante político e professor universitário, Arouca foi um dos principais responsáveis por aproximar cientistas, estudiosos, movimentos populares e sindicais que, lutando por melhores condições de vida no final da década de 1980, formularam a ideia do Sistema Único de Saúde-SUS, que figurou na Constituição ao final da década.

Antes de comentar esses desafios, inquietações e tendências ou de penetrar no âmago dos significados e construções que possam vincular acústica, saúde, qualidade de vida e educação, remete-se aos documentos da 8ª Conferência Nacional de Saúde realizada em 1986, a base para o capítulo da saúde na Constituinte Brasileira de 1988 e, portanto, para a criação do SUS. Recorta-se em Arouca (2002, apud CONFERÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE, 2003, p.10), a advertência mais severa e inadiável a ser enfrentada pelo sistema público de saúde no Brasil diariamente:

Nós fizemos a reforma sanitária que criou o SUS, mas o núcleo dele, desumanizado, medicalizado, está errado. Temos de entrar no coração desse modelo e mudar. Qual o fundamento? Primeiro é a promoção da saúde e não da doença. O SUS tem de, em primeiro lugar, perguntar o que está acontecendo no cotidiano e na vida das pessoas e como eu posso interferir para torná-la mais saudável.

2. Contextualizando os Desafios para Reafirmar Princípios Saudáveis da Convergência Profissional

Para contribuir na compreensão, pensamento, intenções, apropriação de saberes e construção de um projeto participativo de profissionais como o engenheiro acústico no segmento público gestor do campo da saúde, a metodologia escolhida para este artigo caracteriza-se como um estudo de análise teórica contendo elementos conceituais combinados com relatos de pesquisas em abordagens

exploratórias e descritivas resultantes de aplicabilidades e trabalhos científicos sobre políticas e ações voltadas à saúde das pessoas, a partir do Laboratório de Estudos sobre Ruído, Acústica, Saúde,

Educação e Qualidade de Vida LERASEQ/UFRGS/CNPq. Assuntos tais quais as influências da exposição dos trabalhadores ao ruído, configuradas em rápidas e constantes mudanças cotidianas, são objetos de análise, também, do Núcleo de Estudos sobre Saúde Pública, Coletiva e do Trabalho/UFRGS/CNPq, de programas e projetos extensionistas e do ensino universitário.

O ensejo de receber na Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS o líder dos engenheiros acústicos da equipe do Ministério de Saúde do Chile, durante a recente Semana de Prevenção e Conscientização sobre os problemas causados pelo Ruído neste ano, mostrou alternativas e esclareceu pontos proeminentes para que a assistência e a gestão em saúde possam contemplar políticas abrangentes para a sistematização de ações preventivas e de educação permanente aos profissionais da saúde e das demais áreas do conhecimento. Propor, justificar, receber, apresentar e avaliar a acolhida ao engenheiro acústico Antonio Marzzano Rios em aulas da graduação e seminários na pós-graduação de cursos nos âmbitos da saúde e da engenharia, por exemplo, foi uma tarefa desafiadora. Equivaleu-se ao esforço de explicar a procedência do profissional chileno nos grupos de estudos e nas rodas de conversa com professores, alunos, servidores da rede de atenção básica e referência especializada, usuários de unidades do SUS e líderes comunitários da região metropolitana. Ficou evidente que não basta abrir-se vagas dentro dos escalões de governo e, sim, criarem-se mecanismos para articulações e convergências que tornem, ao menos multidisciplinares, as etapas de planejamento, da execução e avaliativas das atividades didáticas e profissionais em acústica, educação e saúde por enquanto.

Mesmo que, no panorama organizacional brasileiro, o Plano Nacional de Saúde-PNS e o Plano Nacional de Educação-PNE, embora específicos, partam de uma mesma origem infraconstitucional e prescrevam a cidadania, expressa na Constituição (BRASIL, 1988) em correspondência direta com a preocupação sobre a qualidade da vida e do trabalho das pessoas, não se tornou automática qualquer aproximação e interface entre esses campos profissionais. Porém, ambos, compartilham em suas metas a importância de políticas públicas integradas, da perspectiva intercultural emancipatória, dos direitos humanos conferidos pela cidadania, da prevenção dos problemas sociais, das bases éticas da prática da interdisciplinaridade e da promoção humanizada da saúde individual e

coletiva.

A Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014, aprovou o Plano Nacional de Educação (BRASIL, 2014), estabelecendo uma vigência por dez anos, conforme dispõe a Constituição Federal no artigo 214 (BRASIL, 1988). Suas diretrizes estão organizadas em dez desafios acentuando a cidadania, os direitos humanos e a educação como bens público e coletivo.

A batalha pela erradicação do analfabetismo, a universalização do atendimento escolar, a superação das desigualdades sem discriminação e atentos à diversidade e à sustentabilidade socioambiental, a gestão democrática, a promoção humanística, científica, cultural e tecnológica do país, o financiamento do sistema educacional, a formação para o trabalho e para a cidadania com valorização dos seus profissionais e a busca por melhor qualidade para a educação, se não representam efetivas garantias de progresso, indicam um direcionamento e asseveram que os desafios são conhecidos.

A meta de aplicar recursos públicos em educação proporcionais ao produto interno bruto-PIB expõe o raciocínio inclusivo das necessidades de expansão com padrões de qualidade e equidade. O campo da saúde pública, em caráter similar, vem de longa data debatendo e reivindicando recursos adequados para o seu funcionamento. A 15ª Conferência Nacional de Saúde, baseada em movimentos análogos estendidos nos estados e nos municípios, expande as discussões sobre a saúde como direito do povo brasileiro a partir de uma saúde pública de qualidade para cuidar bem das pessoas. As conferências, que incentivam e qualificam essa análise situacional do setor, elegem o conjunto de diretrizes, objetivos e metas para o plano de saúde que será ampliado para a duração de mais quatro anos. Promovem diagnósticos, levantamentos epidemiológicos, estabelecem determinantes e condicionantes, ponderados os aspectos socioeconômicos, os das condições de vida, trabalho e ambiente, hábitos e estilos, assim como, o complexo produtivo e de ciência, tecnologia e inovação em saúde, rodadas de estudos e debates como direito de escolha e da cidadania.

A valorização do trabalho e da educação em saúde, medidas para a garantia do acesso e da atenção de qualidade, a informação, a educação e a política de comunicação do SUS, o financiamento e a parceria relacional do setor público com o privado, a gestão e os modelos de atenção são eixos temáticos escolhidos para essa 15ª Conferência Nacional com a transversalidade das discussões em torno de reformas democráticas e populares do Estado brasileiro (BRASIL, 2015).

A legislação foi elaborada para atender a cuidados imperiosos, contudo, não fica isenta a manobras

oportunistas e corporativas. Como uma das leis orgânicas da saúde, a Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990, que regula a estratégia das conferências municipais, estaduais, nacional, distritais e locais, institui valor capital à participação da comunidade através dos mecanismos de controle social, onde a metade da representatividade dos usuários dos serviços deve equivaler à distribuição das categorias dos gestores, dos representantes dos profissionais e do setor privado contratado ou conveniado (BRASIL, 1990).

A complexidade da política pública de saúde e de educação no Brasil depende da importância de considerar a diversidade das necessidades e determinações de cada espaço conjuntural, o alcance palpável até os recursos financeiros, de inovação tecnológica e a capacitação dos profissionais e dirigentes da sua rede sistematizada, sem a ingenuidade de desconhecer o jogo dos interesses e das pressões do mercado mundializado, que põem em prova a própria estruturação desses sistemas públicos e a concepção e o desfrutar do direito de cidadania (PAIXÃO, 2015). Pensar, estudar, debater, contribuir e aperfeiçoar são verbos indicadores de uma prática fundamental que saiba e se contraponha, não apenas à barbárie das guerras, mas à racionalização econômica que numera os indivíduos e os contabiliza anônima e matematicamente.

O desafio da interdisciplinaridade tem se expandido e diversificado os debates sobre a ciência entre a natureza e o sentido das transformações do mundo. A validade do conhecimento científico produz e legitima essas transformações. Mesmo que o conhecimento científico, tal qual forma oficialmente privilegiada de conhecimento, não seja contestado em sua relevância para a vida das sociedades contemporâneas como cita Santos (2014), segue motivando questionamentos e debates sobre sua natureza, suas potencialidades, seus limites e sua contribuição para o bem-estar da sociedade em dado momento histórico. Essa conjuntura seria díspar, somente se o conhecimento não provocasse algumas formas privilegiadas ou de impacto no meio socioprofissional.

Bombassaro (2015) assegura que a interdisciplinaridade passou a ser discutida muito recentemente no âmbito acadêmico e com reduzida atenção às pré-condições para efetivar a partilha e a interação desses conhecimentos. A atitude interdisciplinar, diante dos problemas práticos e teóricos, possivelmente tenha sido um dos fatores mais importantes para a efervescência cultural, artística e científica dos séculos XV e XVI. O processo de especialização e de fragmentação do conhecimento foi produzindo uma compreensão cada vez mais detalhada e densa, porém, menos ampla da realidade, distanciando a visão de conjun-

to e a de abrangência do mundo.

Como quatro mosqueteiros da ficção, os engenheiros acústicos chilenos têm fundações firmes e enfrentam disputas por posições de vanguarda desde o planejamento ao gerenciar das ações do Ministério da Saúde do seu país.

Diante desse reconhecimento pelo desempenho da sua área de trabalho, a tendência é para que se ampliem esses contributivos a outros níveis e esferas de governo. Essa equipe de trabalho transporta-se como modelo para segmentos governamentais de países como o Brasil e em secretarias estaduais e secretarias municipais de saúde.

As novas ciências, que na ótica de Santos(2008) se desenvolveram a partir de meados do século XX, são antirreducionistas. Para isso, em vez do determinismo e dos sistemas lineares, adota-se o caos - e o caos determinista - e a teoria das catástrofes. E mais: em vez da prioridade de investigar a relação causa e efeito, opta-se pela prioridade da investigação dos meios para atingir os objetivos; em vez da separação entre sujeito e objeto, o objeto que é sujeito; em vez da separação entre observador e observado, o observador na observação; em vez da separação entre o pensar e o agir, a interatividade entre ambos tanto no processo de investigação e quanto no desempenho.

Pequenos passos em frente podem conduzir às resultantes de grandes realizações. Um primeiro graduando do curso chileno de engenharia acústica ofereceu-se para estagiar voluntariamente e, depois, desenvolver o seu trabalho de conclusão no setor ambiental do Ministério da Saúde. Aproveitando a oportunidade propiciada à sua atitude inaugural, demonstrou interesse, dedicação e competência. Elaborou pesquisas e relatórios. Formando-se, retornou ao Ministério profissionalmente e para ampliar as ações empreendidas durante o período de estágio.

Das atitudes, as proposições e, das propostas, as realizações profissionais. Natural haver contrariedades, interrogações e solicitarem exposições de argumentos em inúmeras ocasiões. Atitude, iniciativa, criatividade, querer pensar e agir, interesse sincero, intenção de realizar e aperfeiçoamento profissional combinam com novos comportamentos; não com estagnação e comodismo. O sucesso no trabalho é resultado de escolhas, não de oportunidades. Ações simples, mas necessárias e ideias corretas, elaboradas e colocadas em prática fazem diferença, provocam mudanças e confirmam inovações.

3. A Interdisciplinaridade no Estudo Preventivo do Ruído: Síndrome ou Prescrição de uma Nova Cidadania?

O ruído, sobretudo em sua tipificação de ocorrência urbana e laborativa, prejudica a saúde física e psicoemocional das pessoas. Pesquisas com esse enfoque recomendam ações urgentes tanto dos poderes públicos e dos técnicos quanto de todos os seres humanos, em especial na adoção de medidas preventivas do adoecimento e dos danos irreversíveis. Paixão(2012), a partir de uma definição simplificada, assegura que se costuma titular ruído ao som indesejado e que, com isso, aplica-se uma grande subjetividade ao fenômeno, porque as pessoas reagem com percepções diferenciadas e momentos distintos, além das suas experiências, conhecimentos empíricos e formais e características que personalizam as respostas às situações. Admita-se, portanto, o estudo do ruído e sua influência sobre o ser humano com propriedades transversais e convergentes em espaços, instrumentos e práticas interdisciplinares e multiníveis.

Levantamentos preliminares examinando o ensino de conteúdos programáticos sobre o ruído em cursos universitários e de nível médio da escolaridade têm identificado inclinações para o reconhecimento e a assistência biologicista que atenda às consequências da exposição às fontes ruidosas. Individualistas e curativos, esses aparelhos e aparatos cumprem função significativa, porém há que se saber que, para uma boa parte dessas circunstâncias, pouco se poderá atenuar ante a irreversibilidade instalada. Os sinais e sintomas que se intercompletam nas ênfases dessas síndromes, para a organização da sociedade que se propõe seja mais humana, saudável e cidadã fazem avançar exigências por iniciativas e dispositivos de horizontalidade e diálogo entre discursos e procedimentos que superem contingências, contenções disciplinares e de superespecialidades.

Somente haverá interdisciplinaridade se houver diálogo e, de modo inclusivo, os diálogos entre saberes que são diferentes. Complexidade, protagonismo e emergência são prescrições inadiáveis a essa função social de informar, produzir conhecimentos, criar alternativas e espaços de diálogo e ações de sentido humano, cidadão e emancipatório dos sujeitos e coletivos. Pombo(2006) denunciou a progressiva fragmentação e especialização como uma das características do dito desenvolvimento das ciências modernas, cuja dispersão trouxe como resultantes, isolamento e incomunicação, devido a diversidade de métodos e a especialização da linguagem própria. Com o decorrer do tempo, essa progressiva especialização foi desintegrando a sua própria unidade interna até pulverizar em seções superespecializadas, fechadas em si, que, muitas vezes, se ignoram mutuamente.

A convergência dos temas ligados à cidadania, à saúde, à acústica, à educação e à qualidade de vida

é ampla, porque mobiliza uma infinidade de horizontes que podem ser analisados segundo variadas formas de diretrizes, princípios, concepções e políticas de sistematização da assistência e da gestão. Essa disposição de convergir, provada pela experiência chilena da engenharia acústica no âmbito da saúde, atesta a interdisciplinaridade pela constante emergência de novas disciplinas que conferem estabilização institucional e epistemológica a rotinas de cruzamentos disciplinares e interseções do conhecimento. Ao longo da história, a humanidade criou e sistematizou diferentes conceitos e práticas de saúde que se estendem até a contemporaneidade. É importante lembrar que muitas questões estão presentes quando se pensa e fala em saúde: cultura, classe social, questões políticas, modelos de assistência, mundo do trabalho e gestão, dentre outras. É possível dizer que, cada cultura, tem diferentes formas de visualizar, compreender, conceituar e abordar essas peculiaridades.

No registro de Paixão et al (2013), vive-se, sim, o desafio para mudanças no olhar diante das provocações que o mundo real questiona. Fragilidades, potenciais e oportunidades desnudam áreas muito sensíveis para os seres humanos, em meio a tentativas que causem ruptura com o modelo centrado na doença e no endeusamento de um único profissional – luta já histórica – no SUS. Scliar (2007) acentua que essas demandas como a saúde não representam a mesma coisa para todas as pessoas, pois dependem de teses e pontos de contato com aspectos e feições como a época, o lugar, a classe social, valores pessoais, concepções científicas, religiosas e filosóficas. De outro lugar, Mattos(2001) alvitra a integralidade como um dos pilares em vista de suscitar mudanças nas formas de se fazer saúde nos países. Propostas como a humanização, a integralidade, a qualidade de vida e a interdisciplinaridade são construídas concebidas como políticas públicas com visão articulada e integral entre saberes, práticas e vulnerabilidades individuais e coletivas.

Examinando-se fatores condicionantes e determinantes do processo de adoecimento das pessoas ou a proteção do trabalhador e a promoção dos níveis da sua saúde como ser humano, a esmagadora maioria das pesquisas aponta para a necessidade e o valor de articulações entre a ação profissional, a cidadania e a diversidade do mundo do trabalho. Fortalecer o contexto da atuação dos profissionais na sociedade e a prática educativa na perspectiva de refletir sobre essas atividades, revisitá-las e adaptá-las a conjuntos de rápidas e constantes mudanças, englobando inclusive as fases da formação acadêmica, tem o escopo da perspectiva intercultural, interdisciplinar e emancipatória como constituintes dos direitos humanos.

A Constituição Brasileira e a legislação que a complementa assegura como preceito que a saúde é direito de cidadania destinado a todas as pessoas, de modo universal, integral e igualitário, devendo o estado garanti-la, mediante bens e serviços, políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso para sua promoção, proteção e recuperação (BRASIL, 1988). Como direito fundamental do ser humano, a saúde é condição para a cidadania e com qualidade de vida. Prevenir os riscos de danos, promover a saúde e protegê-la é estar atentos e sintonizados com as possibilidades de avanços dos direitos sociais.

Aprender a discernir causas e conseqüências, diagnosticar situações e prever efeitos visando controlá-los e prescrever reordenamentos profissionais e institucionalizados são maneiras de não se acomodar às realidades. Alguns, mesmo tendo múltiplas qualidades, podem não ter qualificação objetiva. Outros, pelas facilidades que possuem, correm tentações de usufruir mais das zonas de conforto. O fato é que qualquer análise menos criteriosa sobre esses contextos encontra alternativas semelhantes (PAIXÃO, 2012). Investir na capacitação adequada e específica, favorecer o desenvolvimento multiusável dos recursos e dos potenciais polivalentes e qualificados, bem como tornar permeáveis as colaborações dos que se preocupam e são capacitados, montam um conjunto estratificado de planejamentos e abordagens. Contudo, não adianta aumentar a quantidade de cursos formadores e a distribuição de diplomas e certificações sem critérios apropriados ou com gênese multifacetada. Mais do que ciências de fronteira, interdisciplinas ou interciências, o ensino, os processos de investigação e as atividades práticas precisam dialogar com atenção, reflexão e análise respeitando tradições e emergências.

Os estudos sobre o ruído servem como campo de provas para a interdisciplinaridade e para experimentos da intercomplementaridade. As políticas públicas de atenção integral em saúde do trabalhador no Brasil, com ações de atenção, promoção, vigilância e prevenção dos agravos, são buscadas com mais intensidade nas últimas décadas(COSTA, et al, 2013). Uma parte considerável dos estudos realizados concluiu pela urgência de medidas preventivas dos danos causados pelo ruído, encontrando-se, nos riscos da irreversibilidade das suas conseqüências, várias inquietudes e justificativas aceitáveis e peremptórias para que sejam protegidas, pela legislação, informação e na realidade, todas as pessoas: crianças, adultos e idosos, independentemente de serem trabalhadores.

Expostos a diversos riscos e causas de doenças e acidentes, quem trabalha se sujeita ao ruído, muitas

vezes como agente físico específico considerado o (2005) apontam-no como extremamente prejudicial à audição humana, sendo a doença ocupacional com maior prevalência no mundo. A relevância e a necessidade de políticas públicas que o contemplem têm raízes históricas. Santos (1986), data da Segunda Guerra Mundial, a incidência de surdez em soldados. Gabas (2007) encontrou a perda auditiva induzida por ruído (PAIR) entre os principais problemas de doença dos trabalhadores brasileiros, estimando que 25% deles sejam portadores dessa perda em algum grau.

Estudos avalizados pela Organização Panamericana de Saúde mostraram que o limite tolerável para a audição humana é de 65dB(A) e que valores acima desse nível podem acarretar estresse, elevando o risco de adoecimento. Ruídos superiores a 80dB(A) aumentam o risco de comprometimento da audição, podendo ocasionar perda auditiva induzida por ruído (PAIR) e/ou efeitos extra auditivos, os quais perturbam o trabalho, o sono e a comunicação das pessoas dentre outros problemas. O tempo de exposição e o ruído ambiental se inter-relacionam e, quanto maior a intensidade do ruído e o tempo de exposição a ele, maior será a probabilidade de lesão auditiva (MOREIRA, 2014). O anexo nº1 da Norma Regulamentadora-NR-15 lista essa exposição máxima (BRASIL, 1978).

Além disso, a legislação brasileira determina que o trabalhador seja submetido a uma série de exames admissionais, periódicos e demissionais, dentre os quais se avaliem com prestígio as condições da sua saúde auditiva. Há programas de controle e serviços profissionais de equipes especializadas nas empresas a serem fiscalizados por meio de organismos reguladores das políticas e leis do trabalho.

Cabe ressaltar que, embora existam inúmeros casos de separações entre o que é pensado e o fazer, os debates e estudos dessas questões têm evoluído. Há processos de qualificação de profissionais, tanto os da saúde quanto das demais áreas do conhecimento, estruturados a partir da problematização de cada sistemática de trabalho. Nesse sentido, Ceccim e Feuerwerker (2004) recomendavam, há mais de uma década, a transformação das práticas profissionais e da própria organização do trabalho, tomando-se, como referência, as necessidades de saúde das pessoas e das populações, da gestão setorial e do controle social em saúde. Com essa base de prática interdisciplinar, exemplificam-se a elaboração e a aplicabilidade de oficinas de ensino e de modelagens da educação permanente. O modelo pedagógico participativo e problematizador podem ocorrer em programas exclusivos ou em datas previstas nos programas de treinamentos, capacitações, educação continuada, educação

mais danoso nos locais de trabalho. Gatto et al

permanente e semanas internas de prevenção de acidentes do trabalho-SIPAT.

Respeitando-se as peculiaridades dos trabalhadores participantes dessas oficinas de ensino, dos propósitos e das lideranças incluídas sintonizam-se adaptabilidades como horários, locais, conteúdos e dinâmicas para o aprendizado, espaços para a fala e a escuta, intercâmbios e trocas, orientações individuais e coletivas, resoluções de dúvidas e planejamento de eventos informativos. A fase de preparo e negociações prévias para cada oficina de ensino englobam consultas a possíveis interessados, conferência de documentos da empresa e de comissões como a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes-CIPA, acompanhamento de dados dos estudos epidemiológicos oficiais na região da empresa ou das moradias e outras condutas mais peculiares como planos, reuniões, visitas aos locais nos quais serão desenvolvidas, produção de materiais de apoio, avaliações, enfim, como um processo contínuo e permanente com receituário amplo de como planejar e concretizá-las. Validade indispensável é a recomendação, segundo Paixão e Antonioli(2014), para que essas oficinas sejam permeáveis a relatos de experiências e vivências dos trabalhadores, construção e fortalecimento de vínculos.

Há autores que mergulham esses cuidados preparatórios das atividades profissionais em requintes de detalhes pequeníssimos, com uma enorme variedade de classificações e etapas. É o caso de aspectos denominativos e formulações como pré-análise, demanda, foco, planejamento integrado e levantamento preliminar de dados, de informações e dos interesses do grupo em relação às necessidades. Quanto à operacionalidade metodológica podem ser sistematizadas em lances como integrar, sensibilizar liberação e subsídios temático e tecnológico. Outra classificação mais simplificada e frequente é distribuída em pré-oficina, oficina propriamente dita e pós-oficina. Reforça-se a afirmativa, todavia, de que essas considerações são apenas pareceres e sugestões estimuladoras para que se favoreça o crescimento pessoal e a produção coletiva dos sujeitos nas atividades. Como relevância, chama-se a atenção para o processo avaliativo, fonte indispensável, até mesmo, para outras operações complementares e/ou reeditadas.

A interdisciplinaridade é, portanto, um motivo que subsidia procedimentos como as oficinas de ensino conferindo a promoção da saúde, da educação e da qualidade de vida e, em especial, como prevenção dos efeitos do ruído nos seres humanos. Uma nova condição de cidadania: mais saudável, autêntica e identificada com o dia a dia das pessoas próximas

dos seus ambientes de vida, de lazer, de trabalho e de convivência humanizada.

A notícia do pertencimento de engenheiros acústicos à equipe de profissionais do setor ambiental e de se tem essa oferta como demanda nos níveis governamentais da saúde nos municípios, nos estados ou no país, contudo, formata-se como um protótipo a ser seguido. Por que não a adotar como paradigma inaugural para os órgãos públicos brasileiros?

4. Acústica, Qualidade de Vida e Gestão Pública: O Encontro da Prática Educativa com o Exercício Interdisciplinar.

À guisa de considerações finais espera-se ter respondido à interrogação sobre a presença ativa e profissional do engenheiro acústico integrando equipes no segmento da saúde pública, coletiva e do trabalho. Não se pretende concluir que o caminho para essa conquista seja longo e tortuoso. Nem demorado. Pelo contrário, quer-se a formação acadêmica articulada com as necessidades sociais e aquelas do mercado, com o construir da compreensão da realidade complexa. Por isso se reconhecem as inovações e efervescências de novos desafios cotidianos e o papel das instituições universitárias, associações de classe e escalões gestores dos governos na pavimentação de convergências que habilitem um resultado efetivo e eficaz para todas as pessoas abraçadas nesse processo e peculiaridades dos cenários.

A gestão pública em sua concepção expandida, mais do que no passado, está desafiada a definir-se, (re)inventar-se, vincular-se ao território concreto da vida das pessoas. Compreender o risco de esgotamento do modelo vigente de ciência é pressuposto fundamental para abandonar barreiras e avançar na abertura a novas experimentações. De modo similar à interdisciplinaridade, esse é campo de tensões entre fenômenos complexos que não aceitam respostas simples. Desdobramentos, arrastos, fragmentações, informalidades, deslocamentos, dispersões e descontinuidade de planos, ações e convivências, se dificultam vínculos e itinerários, também priorizam alertas para a integração, a integralidade e a resolução das necessidades e demandas das várias modalidades de clientelas. Políticas de integração ensino e serviços, remobilizações para o trabalho, produção de tecnologias, educação permanente e práticas assistenciais qualificadas, conferem outras oportunidades criativas e problematizadoras. Ceccim apud Ferla(2015) enfatiza que a própria experimentação não é só fazer, mas refletir sobre a prática realizada e que a questão central não é eleger-se e se recomendar a multi, a trans ou a interdisciplinaridade para - quem sabe - reconhecer uma zona de entredisciplinaridade, de respeito e aceite da capacidade interlocutora entre uma e outra

gerenciamento no Ministério da Saúde do Chile, além das características interdisciplinares, amplia a compreensão de oportunidades para novos campos de atuação e de descoberta de saberes. Ainda não

peessoa, conjunto específico de ser humano. Um exemplo dessa convergência reside no pensamento sobre uma pergunta viva e persistente do tipo: “não pode ser de outra maneira”?

A acústica apresenta-se para a formação profissional das áreas da saúde e da educação como uma temática transversalizada, com interposições possíveis a todos os ramos da ciência e com possibilidades de produzir contatos e interseções entre o ensino, gestão, prática educativa e o exercício interdisciplinar rumo à promoção da qualidade da vida humana. Ampla mobilização e representatividade devem tornar permeáveis as leituras e as respostas às aspirações, interesses e objetivos locais das coletividades. Planejamentos amplos como o Plano Nacional de Educação ou o Plano Nacional de Saúde não são fixos, nem poderiam. Cada um deles, por isso, é fonte de alternativas e espaços generosos a intenções e medidas que propiciam melhor qualidade de vida às pessoas.

A avaliação das condições de saúde, por exemplo, estuda em profundidade o panorama demográfico, a morbidade e a mortalidade dos indivíduos. As doenças transmissíveis, doenças crônicas não transmissíveis, doenças emergentes e reemergentes, acidentes e violências-causas externas são analisadas para contextualizar a morbidade e, quanto à mortalidade, a abordagem é dividida entre mortalidade geral, doenças transmissíveis, doenças crônicas não transmissíveis e acidentes e violências-causas externas. Componentes como o ruído ou as vibrações não se encaixam em alguns desses itens?

A acústica tem contribuições a oferecer tanto na multiplicidade dos conteúdos quanto na oferta de recursos humanos para a pesquisa, o ensino e a ação profissional. Acentuando-se a causa dessas reflexões na notícia de que engenheiros acústicos vêm atuando no Ministério da Saúde do Chile, retoma-se o Plano Nacional de Saúde e a análise situacional brasileira destinada a contribuir na construção de diretrizes, objetivos e metas governamentais. As discussões técnicas e políticas das prioridades e os desafios em saúde vão além de fatores como os modelos de atenção ou do acesso às ações e serviços ou às questões estratégicas para a gestão do SUS. As diretrizes e metas a serem perseguidas e alcançadas têm o escopo de aprimorar o SUS, seu acesso universal, de qualidade, e, em tempo oportuno, contribuir para elevar as condições de saúde estabelecidas, a redução das iniquidades e a promoção da qualidade da vida dos brasileiros.

Os fatores condicionantes e determinantes mencionados anteriormente, a atenção especializada, a urgência e a emergência, a investigação sobre o processo de adoecimento dos coletivos, a área de saúde mental e psicossocial, as populações vulneráveis das áreas carentes e ribeirinhas ou de características exclusivas como a indígena, a vigilância sanitária, a educação em saúde, planejamentos, financiamento e articulação federativa, o controle social e a cooperação internacional, justificam os esforços para o fortalecimento do sistema público, no entanto, demonstram a amplitude de oportunidades aos que participarem.

A cidadania em sua dinamicidade precisa estar mais clara para o cidadão. Desocultar que os multiatores sociais interpretam e ressignificam ações e políticas públicas, que as situações só mudam se os pensamentos mudarem e que a descentralização da saúde - que se universaliza também na educação - tem que ser do poder e não tão somente das incumbências e do patrocínio ou que venha a desobrigar o Estado transferindo-as à sociedade.

Para que seja mais eficiente e eficaz, a gestão pública de governo, assim como a gestão da educação e da saúde, faz-se necessário reformular feições formativas dos profissionais em todos os níveis de ensino. Não é a defesa exclusiva de um argumento como a multidisciplinaridade ou a visão romântica da transdisciplinaridade, quando as disciplinas professam empecilhos a aproximações. Como pensar e agir na entredisciplinaridade diante de departamentos tão tradicionais em universidades? Existem probabilidades para as formações interdisciplinares sim, desde que determinadas respostas não sejam mais aceitas sob determinados fenômenos e situações. A coordenação de perspectivas pode viabilizar a reconstrução do sentido epistemológico do processo em que as especialidades não dificultem mais a interdisciplinaridade pela falta de um tratamento adequado aos problemas da vida.

Aos trabalhadores, notadamente, devem se apresentar ensejos de educação permanente que tornem possível o direcionamento da visão antes individual, biologicista e medicalizada para a concepção promotora da saúde, da pedagogia participativa, da educação problematizadora e da qualidade da vida. O mesmo se recomenda para os profissionais do mercado de trabalho. Assim, se poderá agregar desenvolvimento pessoal, coletivo e institucional, contribuindo, de forma mais efetiva e compromissada, para a melhoria qualitativa da cidadania das pessoas. Ter acesso, interagir, sentir-se parte e convergir é acolher a perspectiva e a experiência do outro no âmbito humano do direito e da cidadania.

Referências

- [1] BOMBASSARO, Luis Carlos. Epistemologia e interdisciplinaridade. In: **Seminário Universidade Contemporânea: tradições e emergências**. Porto Alegre: UFRGS, 29 set. 2015.
- [2] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília – DF, 1978. Portaria n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora – NR15**. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_reguladoras/mentadoras/default.asp>. Acesso em 28 set. 2015.
- [3] BRASIL. **Constituição Federal**. Brasília: 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em 1º out. 2015.
- [4] BRASIL. Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990. Dispõe sobre a participação da comunidade na gestão do Sistema Único de Saúde (SUS) e sobre as transferências intergovernamentais de recursos financeiros na área da saúde e dá outras providências. Disponível em: <<http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/109610/lei-8142-90>>. Acesso em 03 out. 2015.
- [5] BRASIL. Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. **Plano Nacional de Educação**. Brasília: 2014. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2014/lei13005-25-junho-2014-778970-publicacaooriginal144468-pl.html>>. Acesso em 02 out. 2015.
- [6] CECCIM, R. B.; FEUERWERKER, L. C. M. O Quadrilátero da Formação para a Área da Saúde: Ensino, Gestão, Atenção e Controle Social. **PHYSIS: Revista da Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, 2004, v. 14, n. 1, p. 41- 65.
- [7] CONFERÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE, 12, 2003, Brasília: 2003. (trecho de entrevista de Sérgio Arouca, concedida à publicação O Pasquim 21, número 28, Edição de 20 de agosto de 2002). Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_da_12_CNS.pdf>. Acesso em: 15 set. 2015.
- [8] COSTA, D.; et al. Saúde do Trabalhador no SUS: desafios para uma política pública. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v.38, n.127, p.11-30, 2013.
- [9] FERLA, Alcindo. Gestão pública e formação para o SUS. In: **Seminário Educação na Saúde: debate e potência das articulações de ensino e sistema local de saúde**. Porto Alegre, Coorsaude, 14 ago. 2015.
- [10] GABAS, G. Escute bem e proteja-se. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, n. 181, p. 54-61, 2007.

- [11] GATTO, C. I; et al. Análise da conduta de médicos do trabalho diante de trabalhadores com perda auditiva. **Revista Distúrbios da Comunicação**, São Paulo, n.1, p.101-113, abr. 2005.
- [12] MATTOS, R.A. Os sentidos da integralidade: algumas reflexões acerca dos valores que merecem ser defendidos. In: PINHEIRO, R.; MATTOS, R.A.(Orgs). **Os sentidos da integralidade na atenção e no cuidado à saúde**. Rio de Janeiro, IMS-UERJ/ABRASCO, 2001.
- [13] MOREIRA, Aline Carlezzo; GONÇALVES, Claudia Giglio de Oliveira. A eficiência de oficinas em ações educativas na saúde auditiva realizadas com trabalhadores expostos ao ruído. **CEFAC**, São Paulo, v.16, n.3, maio/jun. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-18462014000300723>. Acesso em: 28 set. 2015.
- [14] PAIXÃO, Dilmar Xavier da. A qualificação para a qualidade. In: **Vozes do Partenon Literário IV**. Porto Alegre: Partenon Literário, 2012.
- [15] PAIXÃO, Dilmar Xavier da; RIOS, Diego; PAIXÃO, Márcia. Questão que mexe com todo mundo: a nossa saúde. **Vozes do Partenon Literário V**. Porto Alegre: Partenon Literário, 2013.
- [16] PAIXÃO, Dilmar Xavier da; ANTONIOLLI, Silvana Aline. Eu, trabalhador; eu, trabalhadora: a invisibilidade dos riscos ocupacionais. In: **Vozes do Partenon Literário VI**. Porto Alegre: Partenon Literário, 2014.
- [17] PAIXÃO, Dilmar Xavier da; LARANJA, Rafael Antônio C.; ANTONIOLLI, Silvana Aline.
- [18] Oficinas de ensino com trabalhadores expostos ao ruído: algumas sugestões para a educação permanente. São Paulo: SOBRAC, 2014.
- [19] PAIXÃO, Dilmar Xavier da. Saúde pública de qualidade para cuidar bem das pessoas. Charqueadas, 2015. Palestra proferida na abertura da 6ª Conferência Municipal de Saúde, dia 10 julho de 2015.
- [20] PAIXÃO, Dinara Xavier da. Ruído e cidade: a necessidade de uma convivência harmônica. In: OROZCO MEDINA, Martha G.; GONZÁLEZ, Alice E.(Orgs). Ruido em ciudades latinoamericanas: bases orientadas a su gestión. Guadalajara, Orgánica, 2012. p.139-153
- [21] POMBO, Olga. Práticas interdisciplinares. Sociologias. Porto Alegre, ano 8, n.15, jan/jun., 2006. p.208-249
- [22] SANTOS, Boaventura de Sousa. A Ecologia de Saberes. In: A gramática do tempo: para uma nova cultura política. 2.ed. São Paulo: Cortez, 2008. p.139165
- [23] _____. A cor do tempo quando foge: uma história do presente – crônicas 1986-2013. 14.ed. São Paulo: Cortez, 2014.
- [24] SANTOS, M. P. Ruído, riscos e prevenção. São Paulo: Hucitec, 1986.
- [25] SCLIAR, Moacir. História do conceito de saúde. In; Physis: Revista da Saúde Coletiva. Rio de Janeiro, 17(1), p. 29-41, 2007.
- [26] ZITKOSKI, Jaime José; GENRO, Maria Elly Herz. Educação e direitos humanos numa perspectiva intercultural. Revista Educação e Contemporaneidade. Salvador, v.23, n.41, p.237-245, jan./jun. 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.uneb.br/index.php/faeeba/article/view/840>>. Acesso em 24 set. 2014.

O Estudo do Impacto de Vizinhança (EIV) Relativo à Ocorrência de Emissões Sonoras

PAIXÃO, DINARA¹; ALVES, ALESSANDRO²; GAIDA, CLAUDIA³

¹ Pós-Graduação em Engenharia Civil e Graduação em Engenharia Acústica, UFSM, RS, dinara.paixao@eac.ufsm.br

² Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil, alessandro@uri.edu.br, claudiagaida@hotmail.com

Resumo

Os problemas decorrentes do aumento dos níveis sonoros, a partir da existência ou da potencial implantação de empreendimentos residenciais, comerciais, de prestação de serviços ou industriais, são uma realidade. Há reclamações constantes e a cobrança de uma ação por parte dos poderes públicos. O Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, instituiu o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) que, ao exigir a existência de condições mínimas que garantam a qualidade no entorno do lugar onde o estudo se faz necessário, engloba as questões relativas ao ruído. Cabe a cada município estabelecer os critérios a serem aplicados ao EIV, bem como a definição de quais os empreendimentos que estão obrigados a apresentá-lo, como condicionante para a sua liberação. Grande parte das cidades brasileiras ainda não definiu os itens mínimos necessários e nem quando devem ser encaminhados os laudos técnicos, contendo a avaliação do nível de pressão sonora produzido. No presente artigo são apresentados resultados de uma pesquisa exploratória, de natureza aplicada e que utilizou, como procedimento técnico, o estudo de caso da cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul. Para a elaboração do trabalho, examinaram-se mais de uma centena de Estudos de Impacto de Vizinhança (EIVs), com foco em emissões sonoras. Desenvolveu-se uma ferramenta computacional para análise do EIV, que pode ser utilizada por qualquer Prefeitura Municipal, visando padronizar o método de apreciação desses estudos, especificamente na área de emissões sonoras, contribuindo com a qualidade e a agilidade na elaboração e análise dos EIVs.

Palavras-chave: Emissões sonoras, Ferramenta para Análise, Impacto de Vizinhança, EIV

1. Introdução

No ordenamento jurídico brasileiro, existem meios legais que fixam padrões de emissão sonora, parâmetros para sua avaliação nos ambientes e, ainda, mencionam a necessidade de que as pessoas tenham assegurado o seu direito à saúde, à segurança e ao sossego.

A legislação corrobora, também, que é imperativo possibilitar-se às pessoas viverem com dignidade, qualidade de vida e desfrutarem de saúde física e mental.

Assim, o ser humano deve ser protegido, em quaisquer condições, contra agentes produtores de causas agressoras, que possam constituir-se em danos físicos e psíquicos, como é o caso dos problemas decorrentes da poluição sonora.

Os municípios, segundo a legislação brasileira, devem propiciar um controle efetivo sobre os impactos de vizinhança. Para que isso ocorra, é necessário que existam regulamentações específicas bem definidas e métodos de avaliação bem claros.

O Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) é um instrumento exigido pelos órgãos licenciadores, que deve ser aprovado previamente, para possibilitar a autorização do funcionamento de um determinado empreendimento. Além disso, a determinação do impacto causado pode ser exigida até mesmo de empreendimentos já consolidados.

A Lei Federal nº. 10.257, aprovada em 10/07/2001, conhecida como Estatuto da Cidade, instituiu o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), o qual determina que sua elaboração deva seguir critérios mínimos, visando garantir a qualidade no entorno do local onde seja realizado o estudo. (BRASIL, 2015)

O Estatuto da Cidade determina, inclusive, que os municípios aprovelem suas legislações específicas sobre o EIV, definindo quais os empreendimentos que necessitam apresentar esse documento para a sua efetiva aprovação, segundo as peculiaridades locais. (BRASIL, 2015). A maioria das cidades brasileiras, no entanto, passada mais de uma década da promulgação da Lei, ainda não possui um instrumento de análise adequado.

Levando-se em consideração a questão sonora das cidades, independentemente do tamanho do centro

urbano, observa-se que é cada vez maior a influência de fontes diversificadas, que causam preocupação devido aos prejuízos que ocasionam à qualidade de vida e à saúde humana.

O presente artigo visa contribuir para que os EIVs, referentes à área de emissões sonoras, sejam mais bem elaborados e que sua análise seja realizada de forma rápida e eficiente.

Para a conclusão do trabalho que subsidia esse texto, desenvolveu-se uma ferramenta computacional a ser utilizada por funcionários municipais, buscando-se auxiliá-los no planejamento da cidade, na análise do impacto sonoro e na proposta de modificações na legislação municipal existente.

Além disso, a ferramenta desenvolvida orienta os profissionais que realizam tais trabalhos, ao estabelecer os itens que precisam ser apresentados no documento.

2. Estudos de Impacto de Vizinhança e Emissões Sonoras

O Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) é um instrumento de análise, que serve para subsidiar o licenciamento de atividades ou empreendimentos, públicos ou privados que, em sua instalação ou operação, podem causar danos e impactos ao meio ambiente, ao sistema viário, ao entorno, ou mesmo à comunidade em geral, no que se refere ao município.

A exigência de elaboração do EIV, ainda na fase prévia do licenciamento urbanístico, pode auxiliar os analistas permitindo detectar possíveis impactos e embasando a solicitação de propostas para o seu controle.

Este instrumento deve contemplar os efeitos positivos e negativos do empreendimento ou atividade, causados à qualidade de vida da população que reside no local e nas proximidades. Precisa, ainda, especificar as providências que serão tomadas para evitar ou superar os efeitos prejudiciais advindos da instalação.

A Constituição Federal estabelece em seu artigo 225, direitos referentes à área ambiental.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para a presente e às futuras gerações. (BRASIL, 1988)

A perturbação sonora não é apenas um problema de desconforto acústico, pois provoca: dificuldades na concentração, irritação, cansaço, nervosismo, distúrbios do sono, problemas auditivos, dores de cabeça entre outros.

O conforto possui um caráter subjetivo, pois é determinado pela sensação de bem-estar e influenciado por diferentes fatores. O avanço das intervenções humanas no meio ambiente tem ampliado as fontes de poluição que deterioram a qualidade de vida nos grandes centros. Dentre essas fontes, há uma crescente influência da poluição sonora.

Schmid (2005) afirma que a ideia de conforto existe desde a Idade Média, porém no final do século XIX e no Modernismo foi reduzido a uma superação do desconforto. Ressalta que os parâmetros de conforto utilizados no século XXI padronizam as construções em diferentes países sem considerar as peculiaridades, as situações reais de cada local, as particularidades de cada edificação e até mesmo a singularidade de cada pessoa.

Há muito tempo, o aumento do risco de efeitos negativos à saúde humana, em zonas urbanas ruidosas, tem sido destacado, como no estudo divulgado pela Agência Portuguesa do Ambiente, em 2004. (APA, 2013).

A interação entre o ruído e os efeitos nocivos às pessoas, segundo documento divulgado pela Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization* - WHO), vão desde perturbações no sono até ao aumento do risco de doenças cardiovasculares e desordens psiquiátricas. (WHO, 2011).

O referido documento aponta que, dentre os fatores ambientais prejudiciais à saúde na Europa, o ruído ambiental é o segundo maior indutor, que predispõe a doenças. (WHO, 2011).

Para que haja um controle sobre os níveis sonoros admissíveis em centros urbanos, devem ser desenvolvidas medidas capazes de permitir a fiscalização, estabelecendo as diferentes situações de horários e locais, levando em consideração a zona territorial, as atividades que são realizadas e os níveis de pressão sonora gerados.

O desafio das cidades é conciliar suas atividades com ações que conduzam a um desenvolvimento sustentável, consciente e menos agressivo ao meio ambiente.

No Brasil, o monitoramento do ruído urbano é extremamente incipiente e fruto de iniciativas individuais de pesquisadores. Embora seja clara a necessidade de uma legislação específica, a falta de recursos financeiros e humanos dificulta a criação desse instrumento de gestão urbana.

As pessoas, em especial no Brasil, tendem a considerar – equivocadamente – o ruído urbano como uma tendência normal da urbanização e defendem que seu controle não é possível de ser realizado, conformando-se com tal situação. (PAIXÃO, 2012)

Quando o ruído existente interfere nos pensamentos, atividades ou sentimentos, o incômodo sonoro é considerado uma sensação de desconforto, um sentimento de insatisfação, de ressentimento, de descontentamento ou de ofensa.

Para atingir o equilíbrio ambiental, é necessário o atendimento integral ao problema do ruído. A ligação entre Acústica e Saúde afeta o bem-estar do indivíduo e sua qualidade de vida e, também, a habitabilidade das edificações.

Observa-se, por isso, a necessidade de urgência na consideração do ruído como um fator determinante nos planejamentos urbanos seja nos processos já existentes ou naqueles que estão em fase de projeto ou implantação.

3. Aspectos Metodológicos

Verificou-se, inicialmente, quais eram as legislações existentes no âmbito federal e nas esferas estaduais e municipais, que abordavam os Estudos de Impacto de Vizinhança, buscando-se identificar os pontos positivos e as lacunas existentes nessas leis.

Observou-se o método de trabalho utilizado pelos funcionários municipais responsáveis pela aprovação dos EIVs em diversas cidades brasileiras, tendo especial atenção sob a questão específica das emissões sonoras.

Na cidade objeto do estudo, foi possível o acesso e a compilação dos EIVs. A sistematização desses dados foi fornecida ao órgão público e passou a ser adotada pelos funcionários do mesmo.

Desenvolveu-se, posteriormente, a ferramenta para análise dos Estudos de Impacto de Vizinhança.

3.1 Legislações que regulam o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV)

As legislações brasileiras de âmbito federal, estadual e municipal foram pesquisadas. Além disso, estudaram-se as referências relativas a outros países. A seguir, realizou-se uma análise detalhada da legislação da cidade de Santa Maria/RS – objeto da avaliação - para realizar um comparativo das similaridades e disparidades com outros locais pesquisados.

No âmbito nacional, encontra-se em tramitação na Câmara Federal, o Projeto de Lei que institui a Política Nacional de Conscientização, Prevenção, Controle e Fiscalização das Emissões Sonoras. Ele dispõe sobre diretrizes, critérios e limites na emissão de sons e ruídos de qualquer natureza, bem como seu controle e fiscalização. O projeto, que é uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC), já foi aprovado na Comissão de

Desenvolvimento Urbano (CDU) e encontra-se em avaliação na Comissão de Meio Ambiente.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) possui resoluções relacionadas à questão do ruído. A Resolução nº 001, de 08 de março de 1990, se refere à emissão de ruídos de quaisquer atividades e sua relação com a saúde e sossego público. Esse documento remete aos critérios e diretrizes das Normas da ABNT, NBR 10151 e NBR 10152.

A Resolução do CONAMA nº 002, de 08 de março de 1990, institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, o Programa “Silêncio”, que, infelizmente, não sensibilizou a maioria dos governantes, educadores e imprensa.

A Resolução do CONAMA nº 20, de 07 de dezembro de 1994, instituiu o “selo ruído”, fornecido por laboratórios credenciados pelo INMETRO como forma de indicação do nível de potência sonora, de uso obrigatório para aparelhos eletrodomésticos, produzidos ou importados, que gerem ruído no seu funcionamento.

As diretrizes do CONAMA são normas gerais, conforme o art. 24, § 1º, da Constituição Federal. Assim, os Estados e Municípios podem suplementar valores para exigir mais, isto é, fixar índices menores de decibels no sentido de aumentar a proteção da população ao ruído.

Até o momento não existem, no Brasil, normas específicas para vibrações em edificações, como as decorrentes da circulação rodoviária e ferroviária em túneis ou em vias superficiais. Considera-se importante esse tipo de análise, pois as vibrações podem causar, além da danificação de estruturas e edificações, particularmente em monumentos ou edifícios antigos, e da alteração no funcionamento de equipamentos sensíveis às vibrações, prejuízos à saúde, ao bem-estar e ao rendimento nas atividades laborais da população. (PAIXÃO & FREITAS, 2004)

A lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, Lei de Crimes Ambientais, no seu artigo 54 afirma que:

Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora. Pena – reclusão, de um a quatro anos, e multa; § 1º Se o crime é culposo: Pena – detenção, de seis meses a um ano, e multa. (BRASIL/2015)

O Código Civil Brasileiro de 2002 também contempla o problema do ruído urbano, com os artigos compreendidos entre o 1.277 até o 1.279.

O ruído perturba o sono, o sossego e o bem-estar dos vizinhos. Caracteriza uso nocivo da propriedade, ainda que inexistente a intenção de prejudicar ou incomodar, justificando a aplicação da regra do art. 1277 do Código Civil de 2002, pois o que deve ser considerado são a qualidade de vida e

a saúde do ser humano e não a atividade econômica.

No Rio Grande do Sul (RS), a Lei Estadual nº 11.520/2000, modificada pela Lei nº 12.995/2008, estabeleceu o Código Estadual do Meio Ambiente, dedicando à poluição sonora cinco artigos, no Capítulo XII. Foi observado, ainda, que outros estados brasileiros também legislaram em relação à poluição sonora, de forma direta ou indireta, seguindo o Art. 24 da Constituição Federal.

Na legislação municipal de Santa Maria/RS, constatou-se que no Código de Posturas há dois capítulos relativos ao ruído. O Capítulo I trata da moralidade e sossego público e o Capítulo II se refere aos estabelecimentos de diversão pública. (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA, 2012)

Essa cidade, que possui aproximadamente trezentos mil habitantes, é a “45ª cidade em qualidade de vida entre os mais de 5.560 municípios brasileiros”, segundo a Agência de Desenvolvimento de Santa Maria (ADESM).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de Santa Maria supera a taxa do Estado do Rio Grande do Sul, com **um dos melhores indicadores de alfabetização da América Latina** e uma das menores taxas de mortalidade infantil do País. Reserva, também, boas condições de segurança, saneamento básico e saúde. Registra taxa de 100% de cobertura de serviços de coleta de lixo. (ADESM, 2015).

O Escritório da Cidade, posteriormente denominado Instituto de Planejamento, atuando desde a sua instalação, procurou consolidar um histórico de planejamento urbano para a cidade de Santa Maria. Sua finalidade é assegurar qualidade de vida, justiça social e desenvolvimento de atividades econômicas de acordo com as exigências de ordenação e sustentabilidade.

Realizou-se, a partir do conhecimento das legislações, uma análise nas metodologias de solicitação do EIV, empregadas em diversos municípios pesquisados. Comparou-se, então, com a estrutura mínima requerida pelo Estatuto da Cidade, relativa ao enfoque nas questões sobre o ruído.

3.2 Coleta de Informações e Elaboração da Matriz de Impacto

Santa Maria está localizada no centro geográfico do Rio Grande do Sul, com uma área de 1.788,121km² e quase trezentos mil habitantes. Tendo em vista o grande número de universidades e a região influenciada, a cidade tornou-se polo universitário, possuindo um grande número dos residentes

jovens. Outro grupo significativo da população é o expressivo contingente de militares do Exército e da Aeronáutica. (ADESM, 2015)

A coleta de informações iniciou através de reuniões com os arquitetos componentes da equipe técnica do Escritório da Cidade, ou seja, os responsáveis pela avaliação dos EIVs no município. Os encontros tiveram como objetivo a análise dos métodos de controle e avaliação proporcionados pelos EIVs. Dessa forma detectou-se a inexistência de uma forma de controle para o registro do número de estudos de impacto de vizinhança solicitados. Elaborou-se, por isso, uma matriz de impacto, a qual passou a ser utilizada pela Equipe do Escritório da Cidade, a fim de permitir a coleta de dados para o trabalho.

A matriz elaborada permitiu observar, de forma sintética, a apresentação e dimensionamento dos impactos identificados no levantamento sistêmico, possibilitando uma melhor compreensão das alterações impostas ao ambiente. Essa matriz de impactos, que passou a ser utilizada pelo Escritório da Cidade de Santa Maria, foi construída tendo como base o manual proposto pelo instituto do Planejamento e Desenvolvimento Sustentável do Araxá, considerado como uma referência pioneira na elaboração de matrizes para EIVs. (IPDSA, 2013)

3.3 A proposição de diretrizes para definição da Ferramenta

Após o recebimento e análise dos dados classificados de acordo com a matriz elaborada, passou-se a proposição de diretrizes referentes à emissão sonora.

Tais diretrizes são sugestões de conteúdos mínimos e um documento padrão, onde constem itens específicos, como parte obrigatória nos Estudos de Impacto de Vizinhança relacionados ao ruído.

Durante o desenvolvimento da ferramenta foi definido que a mesma deveria possuir itens mínimos que já estivessem definidos de acordo com as conceituações, como é o caso do aparelho a ser empregado nas medições - o Medidor de Nível de Pressão Sonora, que pode medir em escalas de ponderação A, B, C, D. Assim, a escala a ser utilizada para expressar o nível de pressão sonora é a ponderação A, que representa melhor a sensibilidade da audição humana.

O levantamento das legislações existentes permitiu avaliar as deficiências existentes na lei, possibilitando propostas de modificações capazes de preencher as lacunas legais.

4. Avaliação de EIVS em Santa Maria-RS

A avaliação da Lei de Uso e Ocupação de Solos (LUOS) de Santa Maria – RS possibilitou concluir-se que a legislação da cidade não solicita um EIV para empreendimentos localizados nas zonas

denominadas de *corredores de urbanidade*, independente do seu uso.

Quando o uso é residencial também não é solicitado nenhum Estudo de Impacto de Vizinhança, o que pode acarretar problemas, por exemplo, com a implantação de grandes condomínios.

Com o apoio da Matriz de Impacto elaborada, foi possível conhecer as demandas. Os dados obtidos foram avaliados em reuniões dos integrantes do projeto e classificados de acordo com a matriz. A partir dessas análises foi possível conceber alterações na Matriz de Impacto e delimitá-la de forma mais coerente com a realidade e as demandas locais. Foram recebidas pelo Escritório da Cidade (EC) e analisadas no trabalho mais de uma centena de EIVs, em apenas quatro meses.

O emprego dessa matriz permite que o estudo seja classificado pelo próprio Responsável Técnico pela sua elaboração. Antes disso, essa atividade era realizada pelos funcionários do Escritório da Cidade ao recebê-lo. A *folha de rosto* da Matriz de Impacto, que vem preenchida pelo solicitante, já indica as informações prioritárias para o início da análise, agilizando o processo.

4. 1 Análise dos Dados Relativos aos EIVs

O gráfico apresentado na Figura 1 permite analisar a carência de profissionais especializados na área de impacto decorrente de ruído, visto que somente 6% dos estudos enviados no período avaliado foram aprovados.

Constatou-se, nos textos apresentados, a falta de conhecimento específico para a elaboração do Estudo de Impacto de Vizinhança, relativos à questão do ruído.

Verificou-se que 79% dos EIVs não retornaram após serem encaminhados para correção. Em geral houve desistência ou outro profissional foi contratado para executar aquele EIV.

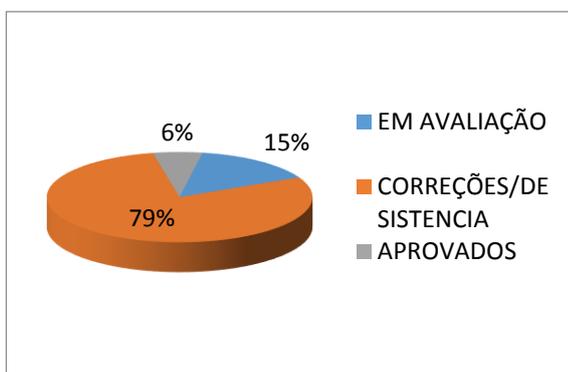


Figura 1 – EIVs no período avaliado

É necessário ressaltar, como se constata na Figura 2, que 21% dos EIVs se referem exclusivamente às emissões sonoras. Esse número aumenta de forma considerável quando se considera aqueles EIVs que se referem às emissões sonoras de forma indireta.

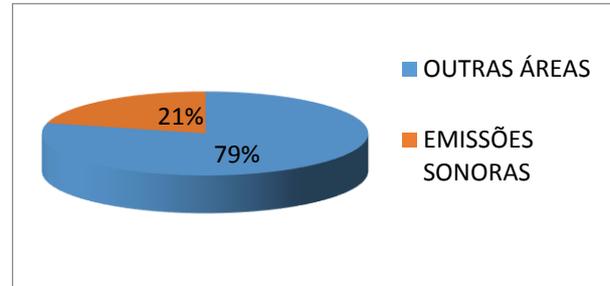


Figura 2 – EIVs por área de concentração

Executado o diagnóstico da situação relativa ao número de solicitações de análise dos EIVs, do tipo de documento encaminhado pelos profissionais, bem como do encaminhamento e da apreciação dos técnicos municipais, efetuou-se o desenvolvimento da ferramenta facilitadora.

5. Desenvolvimento de uma Ferramenta de Análise dos EIVs

5.1 Caracterização do Estudo e Definição dos Itens da Ferramenta

A ferramenta que foi desenvolvida para análise dos EIVs, especificamente nas questões relacionadas com emissões sonoras, busca suprir a necessidade detectada na Lei de Uso e Ocupação de Solos de Santa Maria, Lei Complementar nº 072, de 04 de novembro de 2009, a qual previa a aprovação e a definição futura de dispositivos e processos a serem utilizados.

Através do estudo das legislações existentes, verificou-se que o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e o Estatuto da Cidade lançaram diretrizes gerais para que os municípios estabelecessem em seu Plano Diretor a definição de como os Estudos de Impacto de Vizinhança seriam analisados.

As leis de Santa Maria, que envolvem as questões referentes a estudos de impactos, não definem quais são os itens mínimos a serem apresentados, nem quais as informações específicas que devem estar contidas no EIV.

Após a análise, realizada junto à equipe técnica do Escritório da Cidade, verificou-se a necessidade de um maior controle dos EIVs que eram

encaminhados. Precisava-se, também, classificá-los. Para isso houve a elaboração da Matriz de Impactos, que serviu de subsídio para o levantamento geral dos EIVs e para a definição dos itens mínimos necessários para a ferramenta proposta.

Constatou-se a necessidade de solicitar os seguintes itens: Caracterização do empreendimento; Delimitação da área de vizinhança; Caracterização da área de vizinhança; Avaliação do impacto na infraestrutura urbana; Avaliação do impacto na área de vizinhança; Sistema construtivo do empreendimento. (ALVES, 2013)

5.2 Descrição dos Itens da Ferramenta

Inicialmente, a ferramenta possui um cabeçalho onde se faz a identificação da área de estudo, como mostra a Figura 3.



Figura 3 - Informações Iniciais

No item seguinte, apresentado na Figura 4, é solicitado que a edificação ou o agrupamento de edificações sejam descritos, caracterizando o empreendimento, mostrando todas as informações necessárias para a análise técnica e para a descrição do parcelamento, permitindo avaliar a qualidade da alternativa técnica adotada pelo empreendimento.



Figura 4 - Identificação e descrição do empreendimento

No caso de edificações existentes, a identificação fotográfica é solicitada, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Identificação fotográfica

A indicação da instrumentação utilizada, como mostra a Figura 6, deve comprovar a utilização de equipamentos certificados e calibrados, como orienta a norma ABNT/NBR 10.151.

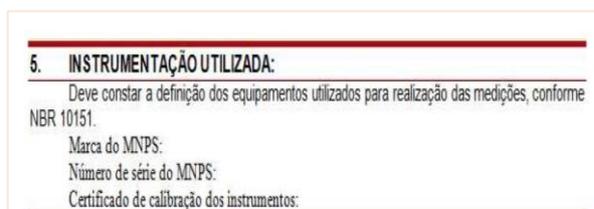


Figura 6 - Descrição dos instrumentos utilizados

É necessário, ainda, que o profissional classifique a fonte sonora para que seja possível verificar e justificar em qual ponderação e qual curva de avaliação o ruído se enquadra. A Figura 7 ilustra a solicitação.



Figura 7 - Fonte(s) sonora(s)

O item 7 da Ferramenta é a *Delimitação da Área de Vizinhança*, que depende do tamanho do empreendimento, da atividade que será desenvolvida e do local de implantação e pode ser classificada em três diferentes áreas.

A *Caracterização da População Residente* descreve a população, a densidade, a taxa de motorização, o uso e ocupação do solo e a estratificação social. Junto à *Caracterização de Vizinhança*, delimitada no item anterior, compõem as informações sobre o

espaço urbano da vizinhança e indicam as tendências.

A *Avaliação de Impacto na Infraestrutura Urbana* deve ser apresentada para que seja realizada a análise da geração dos deslocamentos devido ao empreendimento, o que pode resultar em ruído de tráfego na área.

O modelo para a *Caracterização da Área de Vizinhança* é mostrado na Figura 8.

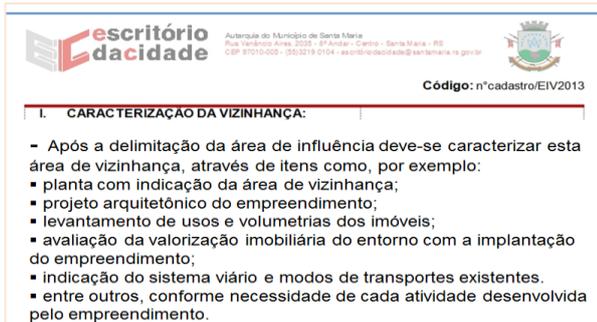


Figura 8 – Caracterização da Vizinhança

O item 8 da Ferramenta trata das Medições e Análises, enquanto o item 9 refere-se a avaliação do impacto na infraestrutura urbana, como mostra a Figura 9.

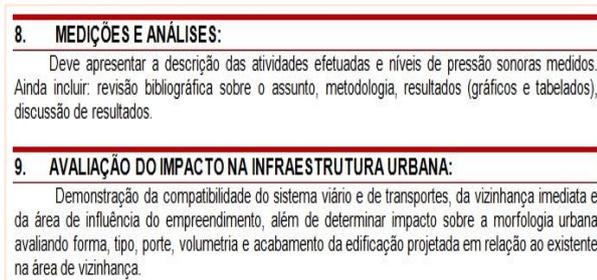


Figura 9 – Medições, análises e avaliação do impacto na infraestrutura urbana

Com o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), busca-se definir as condições no momento da implantação da edificação e suas consequências futuras, para que possam ser propostas alternativas favoráveis que minimizem os prejuízos decorrentes do ruído.

Para o sistema construtivo, no mínimo, as informações sobre etapas de construção ou implantação do parcelamento devem ser apresentadas. Assim, o ruído gerado pela construção em função do maquinário e da movimentação de pessoas pode ser constatado. É possível estimar, também, o ruído futuro suscitado pela demanda da infraestrutura necessária posterior a sua implantação. A Figura 10 ilustra as solicitações.

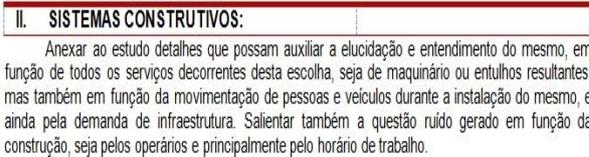


Figura 10 – Anotação sobre a construção

Como foi observado, dentre os itens solicitados, a planta de situação com o croqui do empreendimento, o levantamento fotográfico e a instrumentação utilizada para as medições sonoras devem possuir uma apresentação detalhada.

No croqui, exemplificado na Figura 11, devem constar as medidas gerais do empreendimento, bem como a marcação dos pontos onde foram realizadas as medições.

O levantamento fotográfico compreende os pontos de medição, a área externa e o entorno do empreendimento.

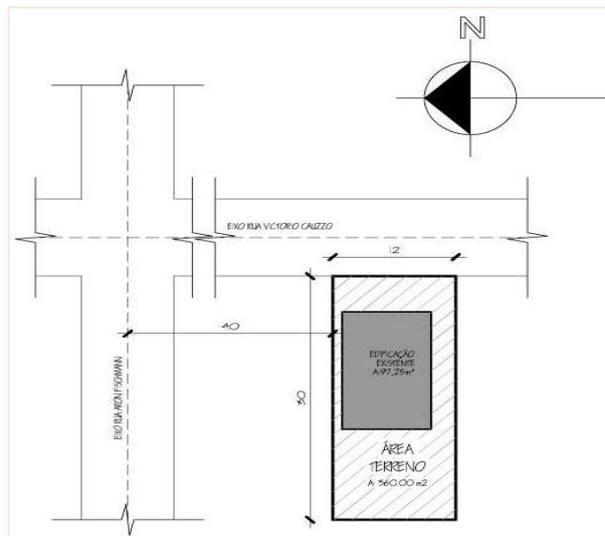


Figura 11 – Croqui situando o empreendimento

Para um melhor desempenho, o conjunto do EIV deve apresentar dados relativos à identificação, avaliação, prevenção, mitigação e compensação dos impactos na vizinhança de um empreendimento ou atividade, para assim ser feita a análise das diferentes questões.

A identificação do profissional responsável técnico finaliza o documento, como mostra a Figura 12.

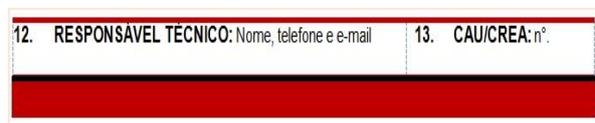


Figura 12 – Identificação do Responsável Técnico.

A elaboração de todos os itens da Ferramenta foi construída com o objetivo de um melhor atendimento às necessidades dos Estudos de Impacto de Vizinhança.

Ressalta-se a importância do EIV ser elaborado por uma equipe multidisciplinar, sendo todos os seus componentes credenciados em suas devidas áreas de atuação, responsabilizando-se pelas informações, resultados e conclusões.

6. Considerações Finais

A população precisa ter assegurado o seu sossego, a sua saúde e a sua segurança. Devem existir, por isso, normativas mais claras e ações de controle, passíveis de aplicação prática.

Constata-se a existência e a gravidade do problema proveniente do ruído urbano, em diversos municípios, sem uma solução adequada.

A poluição sonora tem se tornado cada vez mais presente na vida cotidiana das pessoas, sendo detectada até mesmo em cidades pequenas. A relevância desse tipo de poluição precisa ser considerada, tendo em vista o fato de causar danos à saúde humana.

Os itens específicos para área de emissão sonora implantados na *Ferramenta de Análise dos Estudos de Impacto de Vizinhança* foram propostos a partir da análise de legislações já existentes. Com isso, pretendeu-se possibilitar que a verificação do enquadramento do empreendimento fosse realizada de forma realista e com a menor taxa de erro possível.

A *Matriz de Impacto* proposta - e melhorada durante desenvolvimento da pesquisa - serviu como subsídio para que os EIVs fossem verificados de forma ágil e eficiente, garantindo rapidez ao processo.

A orientação e padronização da Ferramenta, para que apresentasse um formato mínimo, tiveram como objetivo a melhoria da qualidade dos documentos que são encaminhados pelos profissionais.

Além disso, essa padronização oportuniza a otimização de tempo durante a avaliação pela equipe técnica responsável no município.

Outra contribuição decorrente do trabalho executado foi oportunizar, ao órgão municipal competente, o auxílio no aprimoramento da legislação referente aos EIVs.

É necessário, também, que a fiscalização, após as aprovações dos EIVs, seja eficaz e eficiente. Para isso, é preciso atuar na criação de legislações e ações efetivas.

Aguarda-se que, num futuro próximo, aconteçam mudanças significativas na área de planejamento

urbano, especialmente na questão das emissões sonoras.

Almeja-se, por exemplo, que sejam executados os mapas acústicos e, desta forma, as prefeituras municipais possam dispor de um zoneamento urbano realmente planejado, sem prejuízos aos habitantes da cidade e nem aos empreendimentos que contribuem para o desenvolvimento do município.

Espera-se que a *Matriz de Impacto* e a *Ferramenta de Análise dos EIVs*, resultantes da pesquisa, auxiliem na melhoria dos documentos e na agilidade de liberação dos *Estudos de Impacto de Vizinhança* na área de emissões sonoras, contribuindo na melhoria da qualidade de vida da comunidade.

Referências

[1] ADESM. AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA. Santa Maria. (2015). Disponível em: <http://adesm.org.br/santa-maria>. Acesso: 22 ago 2015.

[2] ALVES, Alessandro. Desenvolvimento de uma ferramenta para análise do estudo de impacto de vizinhança na área de emissões sonoras. Dissertação de mestrado – UFSM – SM – Rio Grande do Sul, 2013.

[3] APA. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. O ruído e a Cidade. (2004) Disponível em: www.apambiente.pt. Acesso: 13 junho 2013

[4] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Centro Gráfico do Senado Federal, 1988. 292p.

[5] _____. **Presidência da República/ Casa Civil/ Subchefia para Assuntos Jurídicos. LEI Nº 10.257.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm Acesso: 20 ago 15

[6] _____. **Presidência da República/ Casa Civil/ Subchefia para Assuntos Jurídicos. LEI Nº 9.605.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm. Acesso: 20 ago 2015

[7] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resoluções CONAMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso: 06 ago 11

[8] IPDSA. Portal do Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Araxá/MG. Disponível em: <http://www.ipdsa.org.br/>. Acesso em: 16 maio 2013.

[9] PAIXÃO, Dinara. Ruído e Cidade: A necessidade de uma convivência harmônica. In: Medina, O.; Martha, G.; González, A. E. (coord.). Ruido en

ciudades latinoamericanas: Bases orientadas a su gestión. Primera edición. Orgánica Editores, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. (2012)

[10] PAIXÃO, Dinara & FREITAS, Ana. A Acústica e o Desenvolvimento Sustentável. In: Santa Maria: Simpósio Internacional Fronteiras na América Latina, 2004. Anais... Santa Maria: UFSM, 2004.

[11] PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. Código de Posturas. Santa Maria, 2012.

SCHIMID, Aloísio. A Idéia de Conforto: reflexões sobre o ambiente construído. Editora Pacto Ambiental. Curitiba, 2005.

[12] WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/information-for-the-media/sections/latest-press-releases/new-evidence-from-who-on-health-effects-of-traffic-related-noise-in-europe>. Acesso: 29 ago 2011.



ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA 2015 – SOBRAC 30 ANOS – 12 DE NOVEMBRO DE 2015 – RIO DE JANEIRO-RJ.

O EVENTO NO RIO DE JANEIRO

Coube ao Rio de Janeiro a honra e a responsabilidade de sediar o Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica 2015, que comemora 30 anos de fundação da SOBRAC.

A programação buscou sintetizar, em três painéis temáticos, aspectos relevantes da história e da contribuição da SOBRAC para a formulação de normas e políticas de controle de ruído, sua atuação junto a organismos internacionais bem como apontar perspectivas para o futuro.

Maria Lygia Alves de Niemeyer
Coordenadora do Encontro SOBRAC 2015

O QUE SE PODE ESPERAR DA SOBRAC PARA OS PRÓXIMOS ANOS

A Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, nome fantasia da Associação Brasileira de Acústica, foi fundada em 21/11/1984, enquanto pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos e com finalidade de congregar pessoas físicas e jurídicas. Dentro deste escopo suas ações visam contribuir para o desenvolvimento da Acústica e Vibração, tanto no aspecto científico, quanto tecnológico, estimulando um efetivo intercâmbio entre agentes envolvidos com a área de Acústica e Vibração, no Brasil e exterior, promovendo a realização de Congressos, Seminários, Simpósios, Conferências, Cursos e participando na formulação de políticas e normas inerentes ao seu campo de ação.

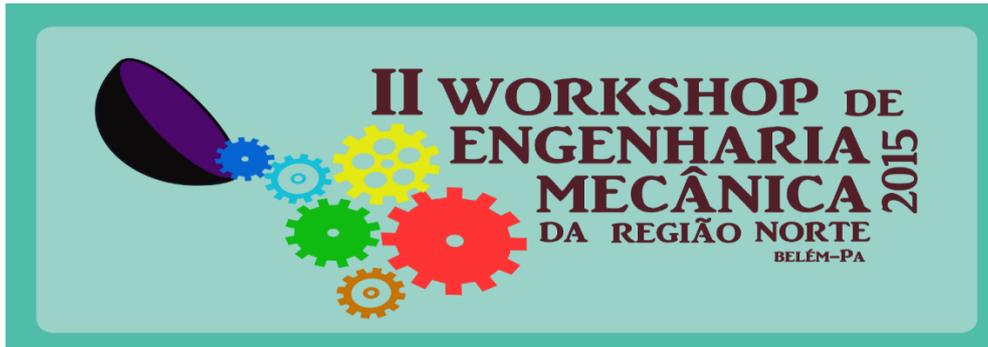
Newton Sure Soeiro
Presidente da SOBRAC 2015-2016



Foto 1 - Mesa de Abertura do Evento Constituída pela Coordenadora do Evento e dos Presidentes da SOBRAC e PROACÚSTICA.



Foto 2 - Presidente Atual e Anteriores da SOBRACFoto 3 - Membros da Diretoria, Conselheiros e Regionais da SOBRAC



TEMA: A IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA MECÂNICA NO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

De 25 a 26 de novembro de 2015 no Centro de Eventos Benedito Nunes (CEBN) – UFPA – Belém-PA

Evento que aconteceu em Belém-PA, no período de 25 a 26 de novembro de 2015, ligado à Regional Pará da Associação Brasileira de Engenharia Mecânica - ABCM e que contou com o apoio da Regional Norte da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC. Nesta segunda edição, tem-se como objetivo principal a contínua integração entre as mais diversas áreas da Engenharia Mecânica, assim como incentivar a comunidade acadêmica local a divulgar suas pesquisas a um público de alunos, professores, técnicos e apreciadores do assunto em questão. Com a união da Diretoria da Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM/ITEC/UFPA, do Centro Acadêmico de Engenharia Mecânica e do Grupo PET Engenharia Mecânica, tornou-se possível a realização deste evento, ocorrido no Centro de Eventos Benedito Nunes - CEBN, o qual se localiza as margens do Rio Guamá, no Campus de Belém, da Universidade Federal do Pará - UFPA. Este espaço de exposições é contemplado com uma beleza cênica e arquitetônica ímpar e recebe inúmeros eventos nacionais e internacionais. A programação do presente workshop está apresentada abaixo:

 II Workshop de Engenharia Mecânica da Região Norte A Importância da Engenharia Mecânica no Desenvolvimento Regional			
Palestras			
Palestra I	Biomassa Energética Aplicada na Amazônia	1º Dia- 25 de novembro de 2015 8:00 - 8:30 8:30 - 10:30 10:30 - 11:00 11:00 - 12:30 12:30 - 14:00 14:00 - 16:00 16:00 - 16:30 16:30 - 18:00	Credenciamento
Palestra II	Fabricação Artesanal de Propulsores Navais Tipo Hélice no Contexto Amazônico: Uma Proposta Socioambiental Buscando a Melhoria do Comportamento Mecânico		Abertura e Palestra I
Palestra III	Controle Vibroacústico em Usinas Hidroelétricas: Uma Abordagem Metodológica		Coffee Break
Palestra IV	A integração entre Produtos e Serviços como Estratégia Competitiva		Palestra II
Minicursos			
Minicurso I	Técnicas para Elaboração de Trabalhos Científicos	2º Dia- 26 de novembro de 2015 8:00 - 9:00 9:00 - 10:00 10:00 - 10:30 11:00 - 12:30 12:30 - 14:00 14:00 - 16:00 16:00 - 16:30 16:30 - 18:00	Intervalo
Minicurso II	Manutenção Sustentável - Quinta Geração da Manutenção		Minicurso I e II
Minicurso III	Materiais Comoósitos na Indústria		Coffee Break
Minicurso IV	Extensometria Básica e Utilização de Fibras Óticas em Medições de Deformações		Minicurso III e IV



ISSN 2764-3611, 1983-442X